

# Trabajo Fin de Grado

## Grado en Ingeniería Aeroespacial

### Modelado y recreación virtual del triarvejón de la Harinera del Guadaíra

Autor: Jesús Guerrero Martínez

Tutor: Francisco Valderrama Gual

Dpto. de Ingeniería Gráfica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018















Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería Aeroespacial

# **Modelado y recreación virtual del triarvejón de la Harinera del Guadaíra**

Autor:  
Jesús Guerrero Martínez

Tutor:  
Francisco Valderrama Gual  
Profesor titular

Dpto. de Ingeniería Gráfica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, 2018



Trabajo Fin de Grado: Modelado y recreación virtual del triarvejón de la Harinera del Guadaira

Autor: Jesús Guerrero Martínez

Tutor: Francisco Valderrama Gual

El tribunal nombrado para juzgar el Trabajo arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2018

El Secretario del Tribunal



*A mi familia*





# Resumen

---

El objetivo de este proyecto es generar un modelo 3D de una antigua máquina situada en el histórico molino conocido como Harinera del Guadaira, en Alcalá de Guadaira. El programa de CAD empleado para este propósito ha sido CATIA V5R19, dado que ya fue extensamente introducido durante un semestre del Grado en Ingeniería Aeroespacial de la Universidad de Sevilla. Se ha necesitado hacer uso de varios módulos de CATIA V5 debido a la amplia variedad de geometrías presentes en esta máquina. También se ha incluido una completa explicación de las geometrías que presentaron mayor dificultad, mencionando las limitaciones encontradas durante la realización del modelo 3D. Adicionalmente, se ha añadido una completa descripción del funcionamiento de la máquina, así como una breve presentación del edificio y del resto de instalaciones y máquinas presentes en la Harinera del Guadaira.



# Abstract

---

The aim of this project is to generate a full 3D model of an ancient machine placed in an historic flour mill called Harinera del Guadaira in Alcalá de Guadaira. The CAD software used for this purpose is CATIA V5R19, since it was thoroughly introduced during a semester of Bachelor's Degree in Aerospace Engineering of Universidad de Sevilla. Several modules of CATIA V5 has been needed to be used due to the wide range of geometries presents in this machine. A complete explanation of the most difficult geometries generated is also included, mentioning the limitations found during the execution of this 3D model. Additionally, a complete description of how machine works, as well as a brief description of the building and facilities of Harinera del Guadaira has been incorporated to this project.



# Índice

---

<b>Resumen</b>	<b>vii</b>
<b>Abstract</b>	<b>ix</b>
<b>Índice</b>	<b>xi</b>
Índice de Fotografías	xiii
Índice de Ilustraciones	xv
Índice de Capturas	xvii
<b>1 La Harinera del Guadaíra</b>	<b>1</b>
<b>2 La molinería</b>	<b>5</b>
2.1 Limpieza y preparación del grano para la molienda	5
2.2 Molienda y obtención de la harina	11
<b>3 Triarvejón o seleccionador de granos</b>	<b>17</b>
3.1 ¿Por qué se ha elegido esta máquina?	17
3.2 Breve descripción física de la máquina	18
3.3 Funcionamiento del triarvejón	24
3.4 Descripción detallada de los conjuntos y partes principales	27
3.4.1 Tolla de alimentación	31
3.4.2 Chapa alveolada	33
3.4.3 Canalón y tornillo sin fin	39
3.4.4 Regulador de inclinación del canalón	41
3.4.5 Batidor	43
3.4.6 Separador-aspirador	45
3.4.7 Distribución y aspiración	47
3.4.8 Transmisión mecánica	49
3.4.9 Lubricación y tapas de acceso	53
3.4.10 Estructura	56
<b>4 Modelado 3D en CATIA V5</b>	<b>59</b>
4.1 Módulos de CATIA V5 empleados	59
4.2 Detalles de los modelados más interesantes o problemáticos	59
4.2.1 Chapa alveolada	59
4.2.2 Correa cruzada de transmisión	65
4.2.3 Engranaje cónico de dientes rectos	68
4.2.4 Etiqueta tapa de registro chapa alveolada y dial regulador de inclinación	70
4.3 Consideraciones sobre el modelado propuesto y sus limitaciones	72
<b>5 Conclusiones</b>	<b>73</b>
<b>6 Referencias</b>	<b>75</b>



# Índice de Fotografías

---

Fotografía 1 – Semisótano.	1
Fotografía 2 – Primera planta.	2
Fotografía 3 – Segunda planta.	2
Fotografía 4 – Segunda planta.	3
Fotografía 5 – Tercera planta.	3
Fotografía 6 – Tercera planta.	4
Fotografía 7 – Lugar que debía ocupar la limpiadora aspiradora.	6
Fotografía 8 – Columna escurridora.	7
Fotografía 9 – Punto de unión de la columna escurridora y la rosca lavadora.	7
Fotografía 10 – Triarvejón.	8
Fotografía 11 – Seleccionadora Paddy.	9
Fotografía 12 – Rociador.	9
Fotografía 13 – Aspirador centrífugo y ciclón.	10
Fotografía 14 – Medidor-mezclador.	11
Fotografía 15 – Despuntadora con camisa de esmeril.	12
Fotografía 16 – Interior de la despuntadora con camisa de esmeril.	12
Fotografía 17 – Acondicionador de trigo.	13
Fotografía 18 – Molino de rodillos.	13
Fotografía 19 – Eureka.	14
Fotografía 20 – Escobillón.	14
Fotografía 21 – Desatadores.	15
Fotografía 22 – Lugar que ocupaban los sasores (2) y los plansichter (4).	15
Fotografía 23 – Aspirador centrífugo y filtro de mangas.	16
Fotografía 24 – Perspectiva del triarvejón.	18
Fotografía 25 – Tolva de alimentación del cilindro clasificador intermedio.	19
Fotografía 26 – Dientes mecanizados de un engranaje cónico.	19
Fotografía 27 – Remaches en caliente, o roblones, uniendo partes estructurales.	20
Fotografía 28 – Pernos con tuercas uniendo partes estructurales.	20
Fotografía 29 – Interior chapa de acero con alveolos embutidos.	21
Fotografía 30 – Conducto con trampilla de cierre de chapa galvanizada.	21
Fotografía 31 – Registro de madera en un conducto.	22

Fotografía 32 – Adaptador de madera para toma de alimentación de grano.	22
Fotografía 33 – Correa de cuero.	23
Fotografía 34 – Alvéolos del cilindro clasificador superior y una moneda.	24
Fotografía 35 – Alvéolos del cilindro clasificador intermedio y una moneda.	24
Fotografía 36 – Alvéolos del cilindro clasificador inferior y una moneda.	24



# Índice de Ilustraciones

---

Ilustración 1 – Perspectiva de la máquina completa con recreación de colores.	27
Ilustración 2 – Perspectiva de uno de los tres cilindros clasificadores.	28
Ilustración 3 – Sistemas que componen un cilindro clasificador.	29
Ilustración 4 – Vista explosionada de un cilindro clasificador.	30
Ilustración 5 – Situación de la tolva de alimentación.	31
Ilustración 6 – Perspectivas de la tolva de alimentación.	31
Ilustración 7 – Recorrido de los granos por el interior de la tolva de alimentación.	32
Ilustración 8 – Vista explosionada de la tolva de alimentación.	32
Ilustración 9 – Situación de la chapa alveolada.	33
Ilustración 10 – Dimensiones aproximadas de las tres chapas alveoladas.	34
Ilustración 11 – Corte de la chapa alveolada. Detalle de los alveolos y orificios de salida de granos.	35
Ilustración 12 – Sección chapa alveolada para seleccionar granos más pequeños que el trigo.	36
Ilustración 13 – Sección chapa alveolada para seleccionar trigo y granos más pequeños que el trigo.	37
Ilustración 14 – Vista de los radios que sustentan la chapa alveolada y canalón interno.	38
Ilustración 15 – Vista explosionada de la chapa alveolada y los radios que la sustentan.	38
Ilustración 16 – Situación del canalón y tornillo sin fin.	39
Ilustración 17 – Detalle contacto entre extremo de salida canalón y rueda de salida chapa alveolada.	39
Ilustración 18 – Recorrido de los granos por el interior del cilindro clasificador.	40
Ilustración 19 – Vista explosionada del canalón y tornillo sin fin.	40
Ilustración 20 – Situación del regulador de inclinación del canalón.	41
Ilustración 21 – Perspectiva del regulador de inclinación del canalón.	41
Ilustración 22 – Vista explosionada del regulador de inclinación del canalón.	42
Ilustración 23 – Elementos móviles y elementos fijos regulables.	42
Ilustración 24 – Situación del batidor.	43
Ilustración 25 – Sentidos de giro de chapa alveolada y batidor. Diferencia entre uso y no uso del batidor.	43
Ilustración 26 – Vista explosionada del batidor.	44
Ilustración 27 – Detalle de la transmisión corona anular (conductor) y piñón del batidor (conducido).	44
Ilustración 28 – Situación del separador-aspirador.	45
Ilustración 29 – Vista explosionada del separador-aspirador.	46
Ilustración 30 – Flujos de granos seleccionados y rechazados y aspiración de partículas livianas.	46
Ilustración 31 – Situación de conductos de distribución de grano y de aspiración de partículas livianas.	47

Ilustración 32 – Detalles de los conductos de distribución de granos y aspiración de partículas livianas.	48
Ilustración 33 – Situación de los componentes de la transmisión mecánica.	49
Ilustración 34 – Sentidos de giro de los componentes de la transmisión mecánica.	50
Ilustración 35 – Vista explosionada de la carcasa del engranaje cónico.	51
Ilustración 36 – Detalle de la corona y piñón del engranaje cónico.	51
Ilustración 37 – Vista explosionada de un cojinete.	52
Ilustración 38 – Situación de las aceiteras o lubricadores por gravedad y sus tapas de acceso.	53
Ilustración 39 – Vista explosionada y corte de una aceitera o lubricador por gravedad.	54
Ilustración 40 – Tapa de registro de la chapa alveolada y detalle de la etiqueta.	54
Ilustración 41 – Tapa de registro del separador-aspirador.	55
Ilustración 42 – Estructura de la máquina.	56
Ilustración 43 – Vista explosionada diferenciando uniones con pernos y remachadas.	57

# Índice de Capturas

---

Captura 1 – Chapa alveolada no simplificada con <i>Render Style</i> de <i>Shading with Edges</i> .	60
Captura 2 – Superficie interior de un alveolo.	60
Captura 3 – Aplicación de espesor a la superficie y patrón circular.	61
Captura 4 – Pegado especial del <i>Body 2</i> y extensión lisa de arco igual a un alveolo.	61
Captura 5 – Pegado especial, traslación y rotación de <i>Body 2</i> y extensiones lisas en los extremos.	62
Captura 6 – Pegado especial del <i>Body 3</i> y aplicación de patrón lineal.	62
Captura 7 – Pegado especial del <i>Body 4</i> y aplicación de patrón lineal.	63
Captura 8 – Pegado especial del <i>Body 5</i> y rotación.	63
Captura 9 – Pegado especial del <i>Body 6</i> y rotación.	64
Captura 10 – Resultado recreando la costura de la soldadura.	64
Captura 11 – Resultado final de la chapa alveolada no simplificada.	65
Captura 12 – Posición de las poleas, plano medio y puntos de tangencia.	66
Captura 13 – <i>Law</i> generada a partir del <i>Sketch 3</i> y del <i>Sketch 5</i> .	66
Captura 14 – <i>Sweep 1</i> con <i>Law 1</i> como función del ángulo de referencia.	67
Captura 15 – <i>Join 1</i> con la superficie interna de la correa cruzada.	67
Captura 16 – <i>PartBody</i> con el sólido final.	68
Captura 17 – Vista del cruce de la correa.	68
Captura 18 – Extracción de medida desconocida a partir de medida conocida y fotografía.	69
Captura 19 – Parametrizado de los dientes de los engranajes cónicos.	69
Captura 20 – <i>Drawing</i> guardado con formato <i>.dxf</i> con el texto deseado.	70
Captura 21 – <i>Sketch</i> con los números del dial del regulador de inclinación del canalón.	71
Captura 22 – <i>Sketch</i> con el texto de la etiqueta de la tapa de registro de la chapa alveolada.	71







# 1 LA HARINERA DEL GUADAÍRA

---

La Harinera del Guadaira se encuentra frente al parque San Juan, uno de los lugares más conocidos de Alcalá de Guadaira, en la avenida Tren de los Panaderos, junto al recinto ferial. El edificio destaca rápidamente por su tamaño y su diseño, que recuerda a las fábricas textiles del S.XVIII y XIX. Se trata de un edificio de planta rectangular de tres plantas y un semisótano donde se ubica la sala de máquinas. Destacan sus gruesos cerramientos exteriores, sus amplios ventanales hacia el patio trasero, o cara norte, sus forjados de vigas de acero y sus entresuelos de madera. Cada una de sus plantas presenta un único espacio diáfano, lo que facilita enormemente la colocación de las máquinas con sus correas y poleas y los conductos que tiempo atrás unían las máquinas entre ellas para distribuir el grano o la harina.

La fábrica se mantuvo en funcionamiento 42 años, entre 1934 y 1976 [1]. A continuación se muestra una serie de fotografías de las estancias que componen la fábrica.



Fotografía 1 – Semisótano.





Fotografía 2 – Primera planta.



Fotografía 3 – Segunda planta.





Fotografía 4 – Segunda planta.



Fotografía 5 – Tercera planta.



Fotografía 6 – Tercera planta.

## 2 LA MOLINERÍA

En esta sección se van a presentar de forma más o menos breve los procesos que creemos se seguían en la Harinera del Guadaira, ya que no ha sido posible documentar los procesos originales. Esto se debe a cuatro factores fundamentalmente:

- Desaparición de algunas máquinas.
- Desplazamiento de algunas máquinas de su lugar original.
- Eliminación de casi todos los conductos originales.
- Reforma del edificio alterando la configuración original de las máquinas.

Por tanto, gran parte de lo que se va a presentar a continuación se debe a [2], cuyos aportes han sido fundamentales para arrojar luz en aquellas secciones de la fábrica en las que por los factores antes mencionados, se desconoce cómo era el proceso original.

Así, siguiendo a [2], se han agrupado los procesos de la fábrica en dos secciones:

- Limpieza y preparación del grano para la molienda.
- Molienda y obtención de la harina.

En la siguiente línea del tiempo se representan ambos procesos, con el silo de reposo separando a ambos:



### 2.1 Limpieza y preparación del grano para la molienda

El proceso de limpieza y preparación del grano abarca desde que los granos llegan a la fábrica hasta que el trigo limpio, sin impurezas y sin germen se envía a los silos de reposo.

Primero, el grano llega sucio a la fábrica y se deposita en silos. Una vez llega el turno de dichos granos, se hacen pasar cerca de un imán para que atrape todos los restos metálicos que pudieran ocasionar roturas de los tamices y telas de las máquinas.

El siguiente paso debía ser un limpiador aspirador, para que eliminara todas las impurezas específicamente más pesadas o livianas que el trigo.



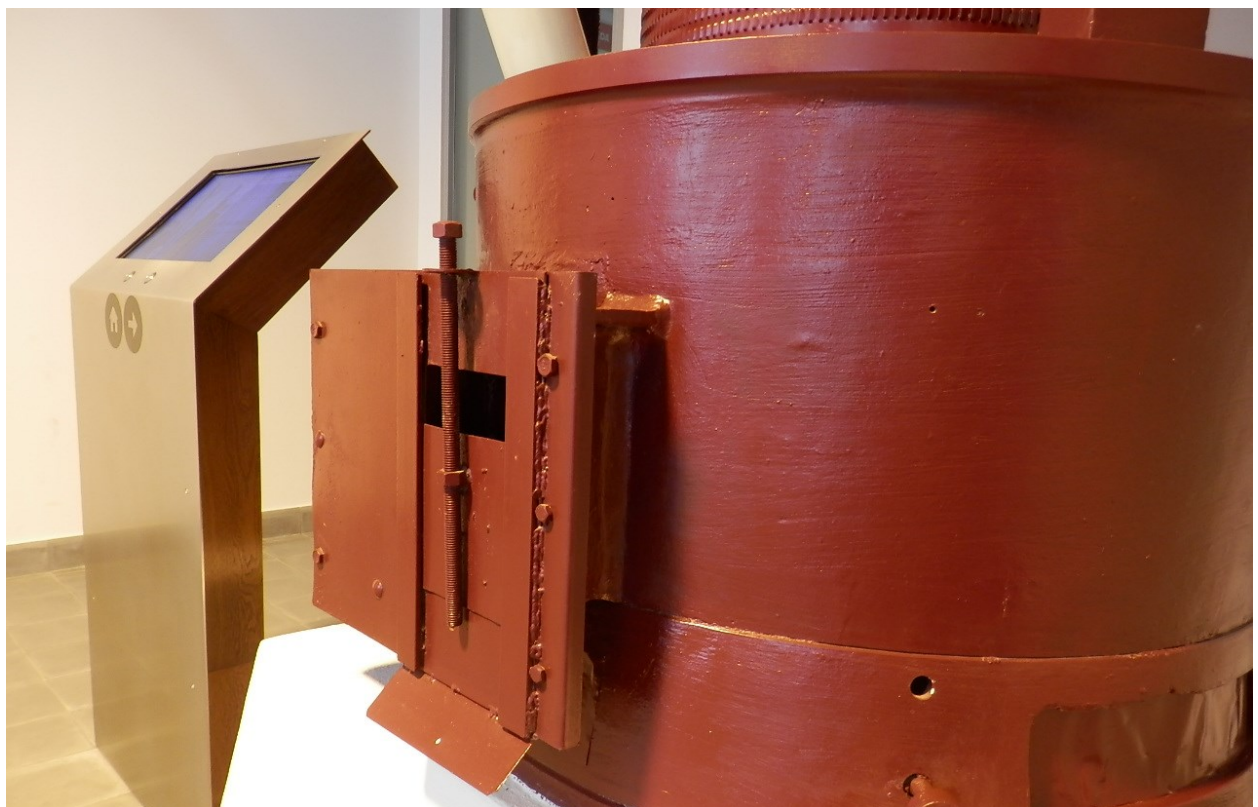


Fotografía 7 – Lugar que debía ocupar la limpiadora aspiradora.

A continuación, se pasaba el producto por la rosca lavadora, que, como su nombre indica, lavaba el grano. Esta máquina tampoco se encuentra actualmente, aunque puede apreciarse el lugar donde conectaba con la columna escurridora. La columna escurridora sí se conserva y su función era la de secar el exceso de agua y remover la suciedad que pudiera quedar en los granos.



Fotografía 8 – Columna escurridora.



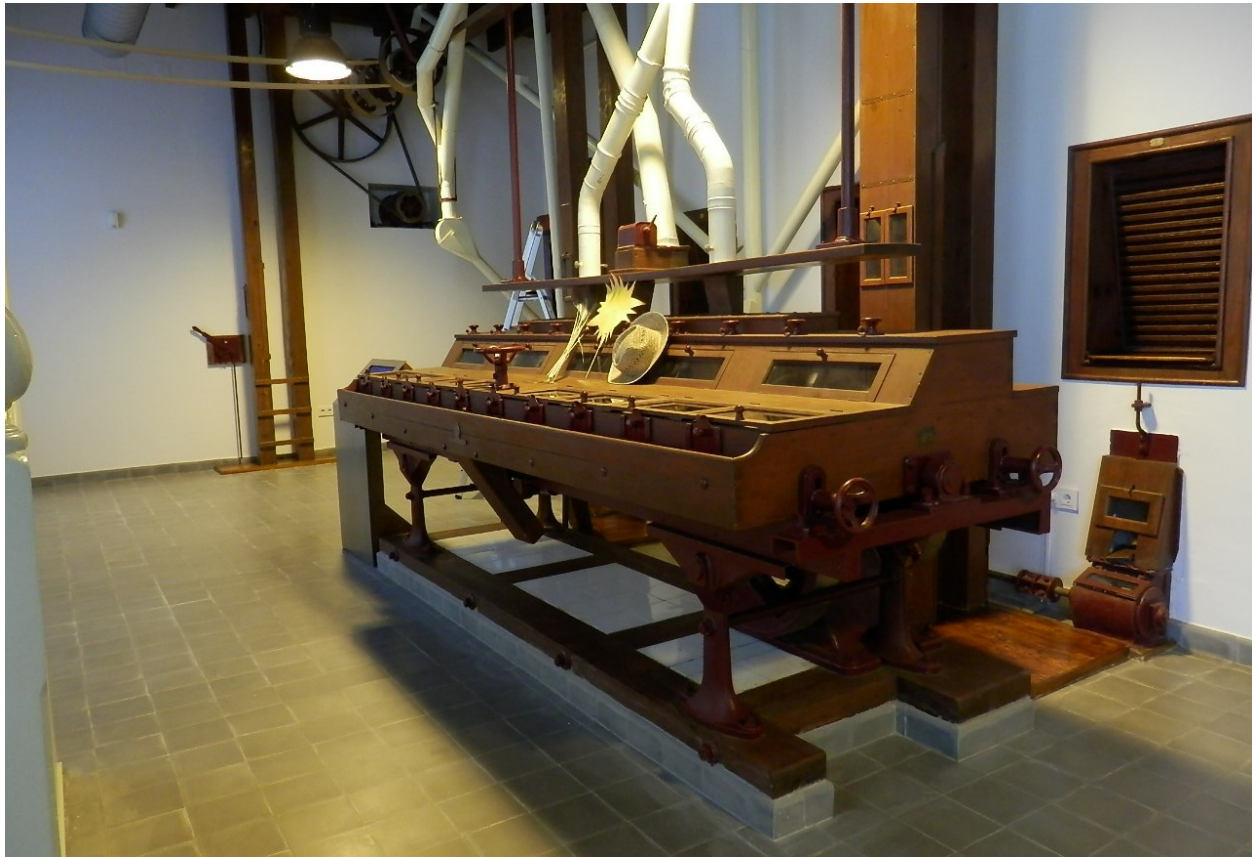
Fotografía 9 – Punto de unión de la columna escurridora y la rosca lavadora.



De ahí, se supone que el grano pasaba al triarvejón y a continuación, a la seleccionadora Paddy. El triarvejón clasifica por tamaño y la seleccionadora Paddy por peso específico.



Fotografía 10 – Triarvejón.



Fotografía 11 – Seleccionadora Paddy.

Finalmente, los granos se rociaban con agua en el rociador y se almacenaban en los silos de reposo durante 24 horas.



Fotografía 12 – Rociador.



En toda la sección de limpieza y preparación del grano para la molienda, la aspiración corría a cargo de un aspirador centrífugo que lleva unido un ciclón para separar sólidos.



Fotografía 13 – Aspirador centrífugo y ciclón.



## 2.2 Molienda y obtención de la harina

El proceso de molienda y obtención de la harina abarca desde que el trigo en los silos de reposo alcanza el estado necesario para iniciar la molienda hasta que se ha arrancado todo el endospermo posible a los salvados y se ha clasificado en base a su calidad y finura.

El proceso comienza extrayendo los granos de los silos de reposo en las cantidades deseadas según los tipos de trigo almacenados en cada silo. Para ello se emplean medidores-mezcladores.



Fotografía 14 – Medidor-mezclador.

Una vez se tiene la mezcla deseada, esta se pasa a la despuntadora con camisa de esmeril, donde se elimina el germen del grano de trigo. De no hacerlo, podría resultar una harina con mal sabor.



Fotografía 15 – Despuntadora con camisa de esmeril.



Fotografía 16 – Interior de la despuntadora con camisa de esmeril.



El grano se pasa al acondicionador de trigo, que tiene forma de columna. Se usa para ablandar la membrana del trigo, ajustando la humedad del grano, lo que resulta en una harina de mayor calidad.



Fotografía 17 – Acondicionador de trigo.

Por fin, el grano pasa para tomar la primera trituración en el molino de rodillos.



Fotografía 18 – Molino de rodillos.

A medida que los granos van pasando por los rodillos, se va desprendiendo parte de su endospermo. La harina de mayor calidad se obtiene con las primeras trituraciones. Después de varias trituraciones o batidas, la harina va siendo cada vez de peor calidad. Entre trituración y trituración, para optimizar el proceso se hace uso de la eureka y el escobillón. La eureka se usa para remover los granos después de la primera trituración y el escobillón para arrancar toda la harina posible de los afrechos después de varias trituraciones.



Fotografía 19 – Eureka.



Fotografía 20 – Escobillón.



También se usan desatadores en las últimas fases de la trituration, para reducir los copos con forma de lámina y que no sean rechazados por los tamices antes de volver para una nueva trituration.



Fotografía 21 – Desatadores.

Los diferentes productos que se obtienen de la trituration son separados en los sasores y los plansichter. En la Harinera del Guadaira no se conserva ninguna de estas máquinas, lo cual es una pérdida importante, ya que son muy interesantes desde el punto de vista técnico, además de muy llamativas estéticamente y de refinada fabricación en madera. El lugar que ocupaban es el que se muestra a continuación.



Fotografía 22 – Lugar que ocupaban los sasores (2) y los plansichter (4).

Durante el proceso de molienda y obtención de la harina, la aspiración se llevaba a cabo mediante un aspirador centrífugo unido a un filtro de mangas.



Fotografía 23 – Aspirador centrífugo y filtro de mangas.

## 3 TRIARVEJÓN O SELECCIONADOR DE GRANOS

---

El objetivo de este capítulo es describir la máquina clasificadora de grano, también conocida como triarvejón. Se comenzará con una justificación del porqué se ha elegido esta máquina en particular y no otra de las presentes en la Harinera del Guadaíra. En segundo lugar, se realizará una breve descripción de la máquina, comentando el uso que tenía dentro de la harinera y sus características físicas generales, de la mano de algunas fotografías reales. A continuación, se desarrollará el concepto de funcionamiento de la máquina. Por último, se hará una descripción más pormenorizada de los elementos que constituyen la máquina, empleando una importante cantidad de ilustraciones obtenidas con el módulo *Drafting* de CATIA V5.

### 3.1 ¿Por qué se ha elegido esta máquina?

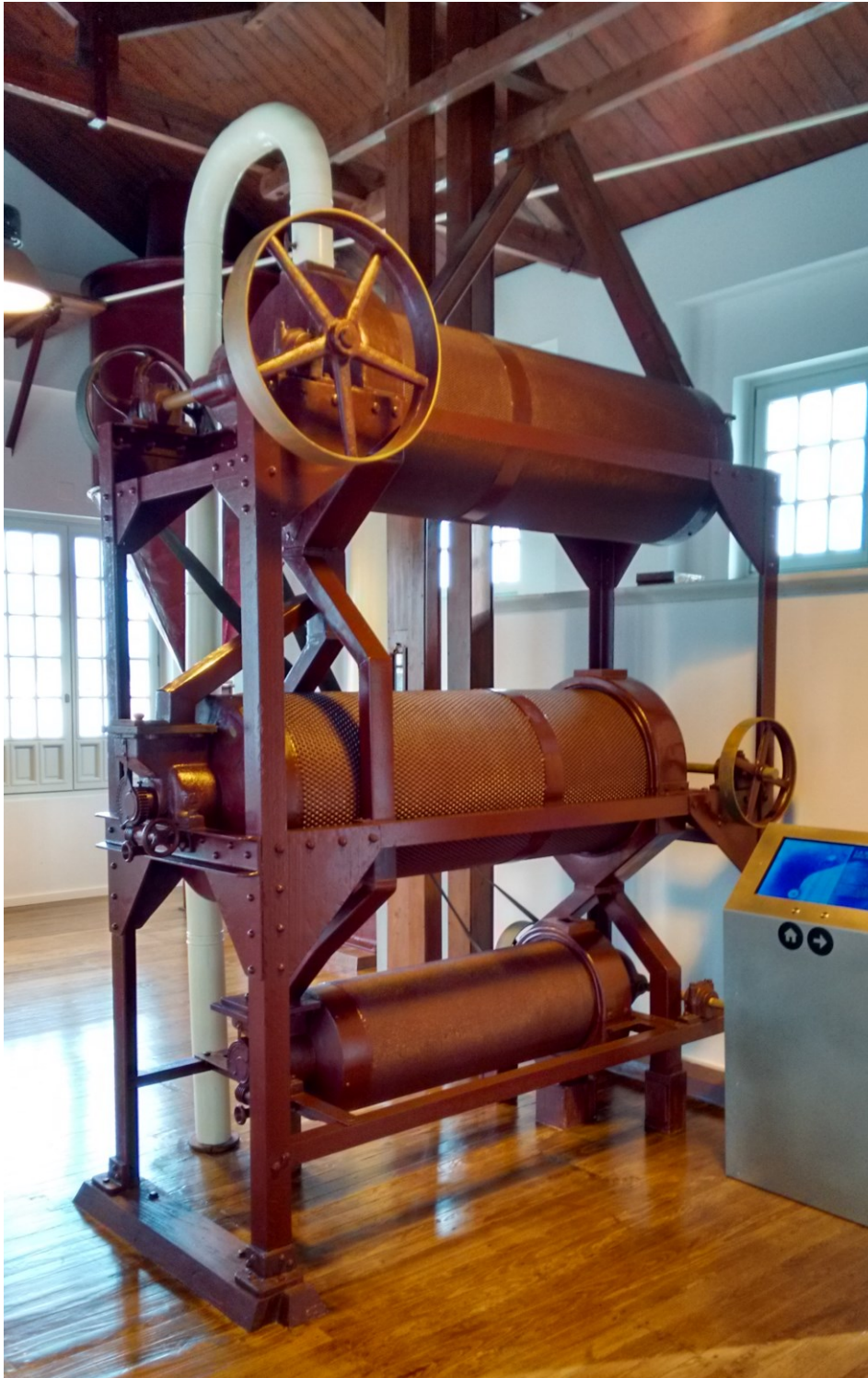
En la Harinera del Guadaíra se conserva un gran número de máquinas muy interesantes desde el punto de vista de la arqueología industrial. Se han conservado máquinas tanto de la sección de limpia como de la sección de molienda. La colección de máquinas pertenecientes a la sección de limpia se ha conservado casi completa, sólo faltando una máquina limpiadora aspiradora y una rosca lavadora. En la sección de molienda —al momento en que se realizaron las visitas para la realización de esta memoria— faltaban los sasores y los plansichters, máquinas de alta importancia en el funcionamiento del molino y muy interesantes técnicamente, lo que supone una pérdida importante para el molino.

De las máquinas disponibles, se optó por descartar todas las máquinas cuya fábrica fuera sencilla y su modelado 3D no representara complejidad alguna. Por otro lado, también se descartaron las máquinas cuyos mecanismos principales estuvieran completamente ocultos y su acceso no fuera posible. Finalmente, se decidió escoger el triarvejón por tener una complejidad suficiente, elementos de geometrías muy variadas y una gran parte de sus mecanismos expuestos o con fácil acceso.



### 3.2 Breve descripción física de la máquina

El triarvejón es una máquina clasificadora de granos. Se compone de una estructura portante, fabricada con perfiles metálicos, tres cilindros clasificadores, cuyo funcionamiento y componentes se detallarán más adelante, y los conductos que transportan el grano y el polvo aspirado por el interior de la máquina y hacia el exterior.



Fotografía 24 – Perspectiva del triarvejón.



Entre los materiales empleados para su construcción se encuentra hierro, acero, chapa galvanizada, bronce, madera y cuero.

Para las piezas con geometrías más complejas, como carcasas y molduras, el método de fabricación seleccionado es el hierro fundido.



Fotografía 25 – Tolva de alimentación del cilindro clasificador intermedio.

Para los engranajes se emplea acero mecanizado.



Fotografía 26 – Dientes mecanizados de un engranaje cónico.



Para la estructura metálica se tiene acero laminado. Para el ensamblaje de las partes que componen la estructura metálica, se han empleado remaches en caliente, o roblones, y pernos con tuercas.



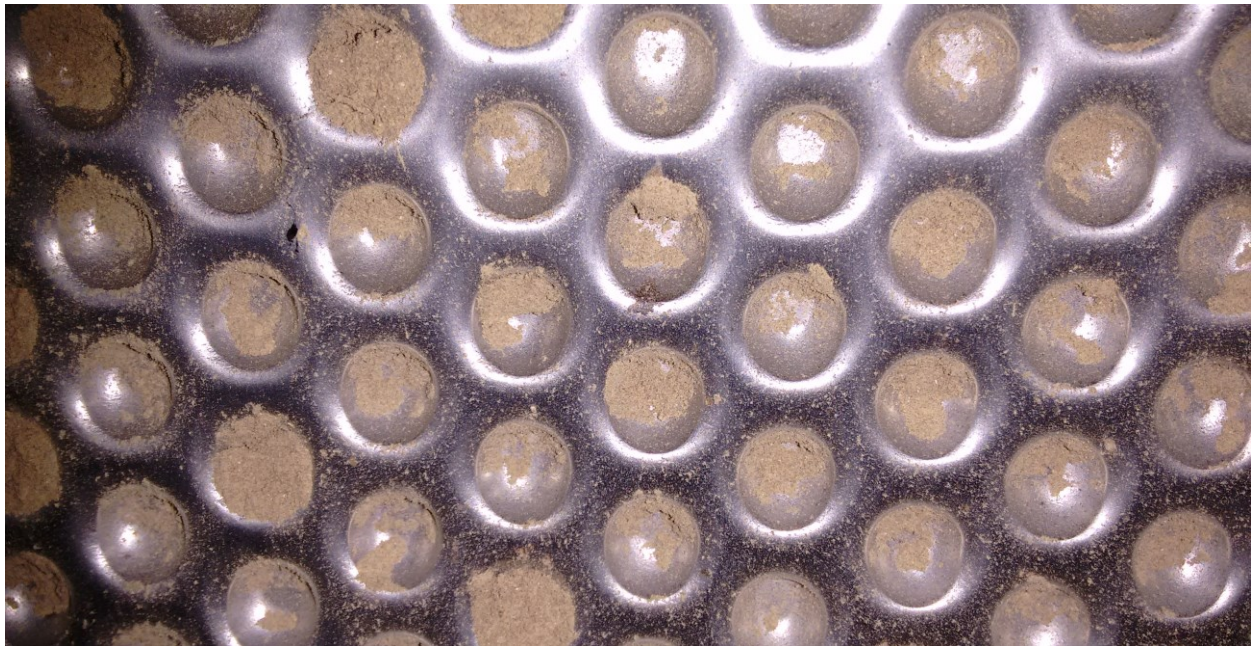
Fotografía 27 – Remaches en caliente, o roblones, uniendo partes estructurales.



Fotografía 28 – Pernos con tuercas uniendo partes estructurales.



Cada chapa alveolada está fabricada a partir de dos planchas de acero con alveolos embutidos y unidas mediante lo que parece soldadura de fragua.



Fotografía 29 – Interior chapa de acero con alveolos embutidos.

La chapa galvanizada se usa principalmente en conductos y canalones, zonas muy expuestas al contacto con el grano húmedo y que de no tener esa protección, se oxidarían rápidamente.



Fotografía 30 – Conducto con trampilla de cierre de chapa galvanizada.



Puede encontrarse madera en la base de las patas de la máquina, sirviendo de amortiguador, y también como registros en conductos o como adaptadores en tomas de alimentación y aspiración.



Fotografía 31 – Registro de madera en un conducto.



Fotografía 32 – Adaptador de madera para toma de alimentación de grano.

La correa de tipo cruzado que transmite el movimiento entre la polea del cilindro superior y la polea del cilindro inferior está fabricada con cuero.



Fotografía 33 – Correa de cuero.



### 3.3 Funcionamiento del triarvejón

La máquina realiza su clasificación según el tamaño del grano. Lo hace gracias a tres chapas cilíndricas con multitud de pequeños alveolos embutidos en ellas. Los granos discurren por el interior de estas chapas cilíndricas y los que mejor se adaptan al tamaño de los alveolos son seleccionados. Más detalles al respecto podrán encontrarse en la Sección 3.4.



Fotografía 34 – Alvéolos del cilindro clasificador superior y una moneda.



Fotografía 35 – Alvéolos del cilindro clasificador intermedio y una moneda.



Fotografía 36 – Alvéolos del cilindro clasificador inferior y una moneda.

Gracias a los diferentes tamaños de los alveolos de cada cilindro, se consiguen resultados distintos. El cilindro superior tiene alveolos de tamaño intermedio, el cilindro intermedio tiene los alveolos de mayor tamaño y el cilindro inferior tiene los de menor tamaño. En el siguiente diagrama de flujo puede observarse la entrada de la mezcla inicial a la máquina, con sus impurezas, y las diferentes salidas que pueden obtenerse en el triarvejón.

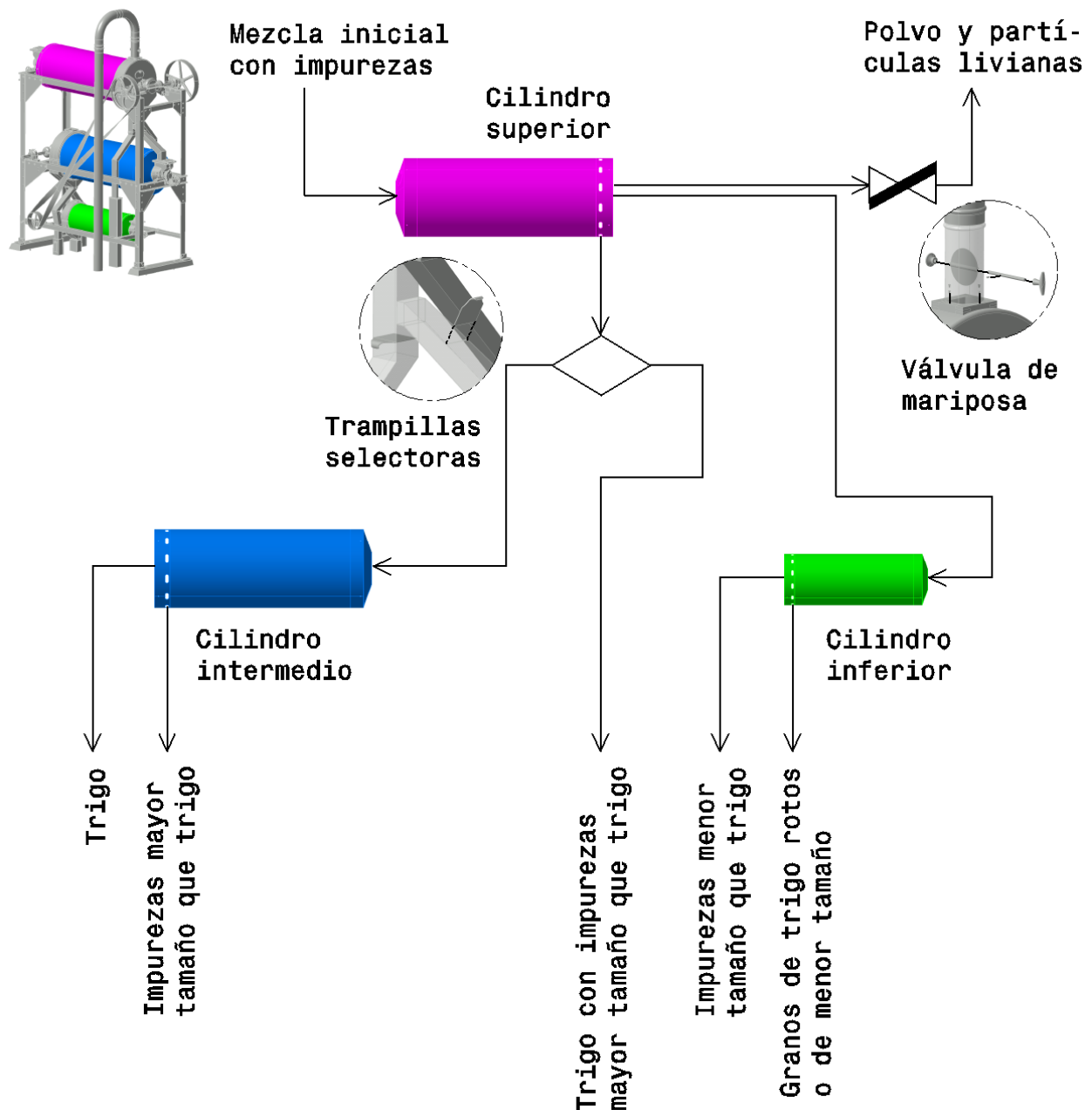


Diagrama de flujo 1 – Diagrama de flujo con las entradas y salidas del triarvejón.

En el cilindro superior se seleccionan granos más pequeños que el trigo, aunque esta selección puede contener granos rotos de trigo o de trigo más pequeños que la media. El cilindro superior incorpora además una toma de aspiración regulada mediante una válvula de mariposa, que sirve para extraer polvo y partículas livianas.

La selección del cilindro superior pasa hacia el cilindro inferior para ser repasada. En el cilindro inferior, con alveolos más pequeños, se seleccionan los granos más pequeños y son apartados definitivamente. El flujo de rechazo del cilindro inferior contendrá granos rotos de trigo y trigo más pequeños que la media, pero que pueden ser aprovechados.

Por su parte, el flujo de rechazo del cilindro superior puede ser enviado directamente a la siguiente fase de la harinera o ser repasado en el cilindro intermedio. El uso o no del cilindro intermedio viene fijado por la cantidad de impurezas y granos de otras especies mayores que el trigo que contenga la mezcla inicial. En caso de que la

mezcla inicial contenga, por ejemplo, una cantidad importante de avena mezclada, se hace necesario el uso del cilindro intermedio. Para ello deben configurarse las trampillas de manera que una bloquee la salida del rechazo hacia la siguiente fase y la otra abra el conducto que pasa el grano del cilindro superior al intermedio. En el cilindro intermedio se seleccionará trigo únicamente y se rechazará impurezas de mayor tamaño que el trigo, como granos de avena, que pueden ser también aprovechados.

Dado que los cilindros superior e inferior trabajan siempre en serie y suponiendo que los cilindros inferior e intermedio están dimensionados acordes al cilindro superior y los niveles de impurezas de la mezcla original se sitúan dentro de lo esperado, se tiene que para conocer el caudal máximo de la máquina, bastará con calcular el caudal del cilindro superior.

En [2] se dan algunos valores aproximados para calcular los caudales de este tipo de triarvejón. En la siguiente tabla se recogen estos valores aproximados:

Tabla 1 – Caudales aprox. (kg/h) por m<sup>2</sup> de superficie alveolada útil y mezcla al 2.5% de impurezas [2].

	Semillas redondas del trigo	Avena del trigo
Triarvejón sencillo	170 kg/h	85 kg/h
Triarvejón de alta capacidad	680 kg/h	340 kg/h
Triarvejón ultra	1700 kg/h	850 kg/h

El triarvejón de la Harinera del Guadaíra encaja con la descripción del *triarvejón ultra* que se da en [2]. Dado que la superficie útil de la chapa alveolada del cilindro superior es  $1.38\text{m} \cdot 2\pi \cdot 0.3\text{m} \approx 2.6\text{m}^2$ , se tiene que el caudal aproximado de la máquina será por tanto igual a  $2.6\text{m}^2 \cdot 1700\text{kg/h} \cdot \text{m}^2 \approx 4420\text{kg/h}$ , con una mezcla al 2.5% de impurezas. La capacidad decaería un 10% por cada 1% de impurezas extra presente en la mezcla inicial.



### 3.4 Descripción detallada de los conjuntos y partes principales

A continuación se describen los conjuntos y partes principales que conforman el triarvejón. En la Ilustración 1 puede verse una perspectiva de la máquina completa en CATIA V5. En ella se han intentado recrear los colores actuales de la máquina.

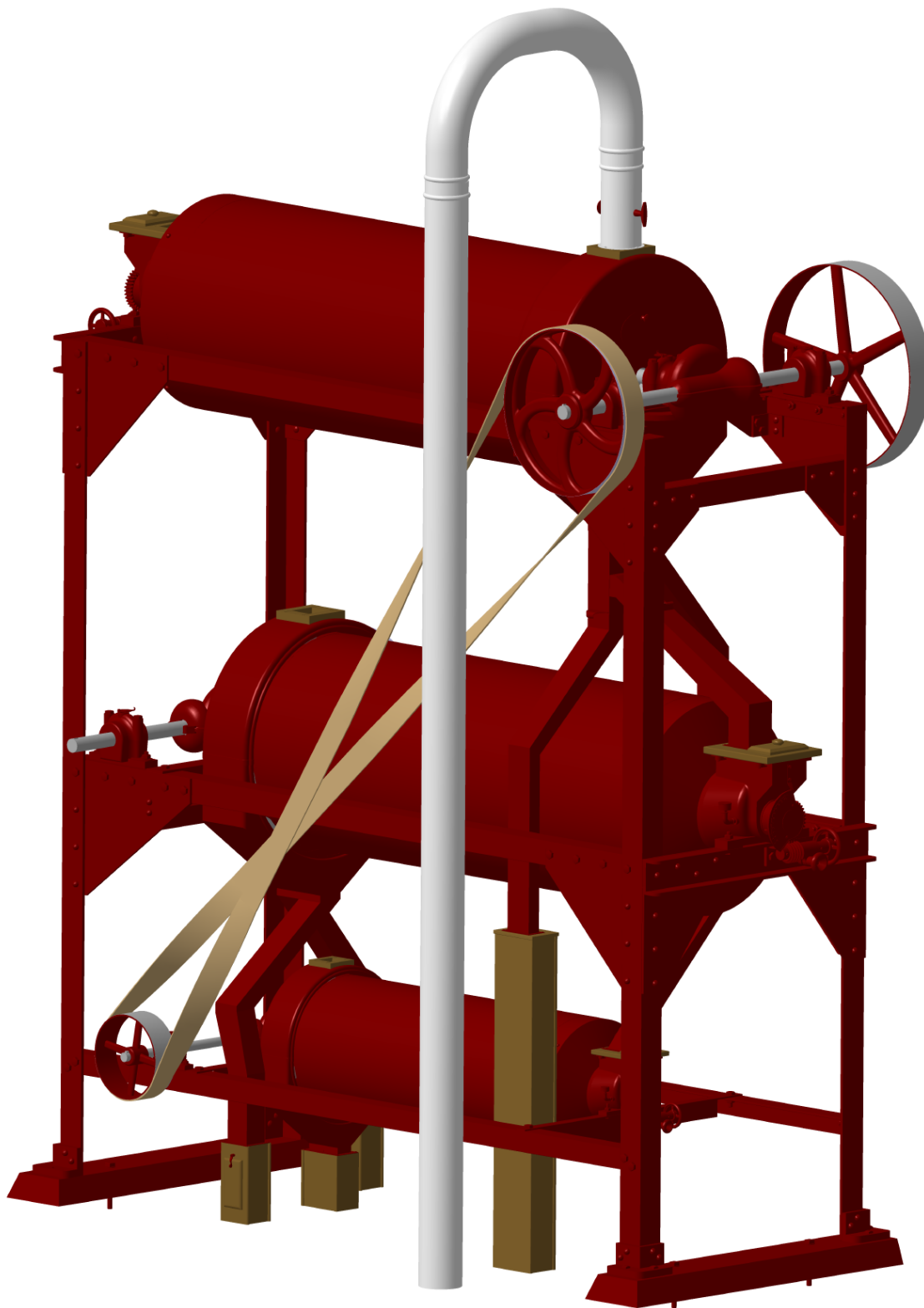


Ilustración 1 – Perspectiva de la máquina completa con recreación de colores.

La máquina se compone de tres cilindros clasificadores dispuestos verticalmente para aprovechar la gravedad, un sistema de conductos que realiza la distribución de los flujos de granos por el interior de la máquina para su clasificación y hacia el exterior una vez clasificado, un sistema de transmisión mecánica del movimiento y la estructura portante. Los cilindros clasificadores están compuestos a su vez por otros subelementos, similares en cada uno de los tres cilindros. En esta memoria van a presentarse todos estos subelementos agrupados en subsistemas en función del objetivo que cumplen en la máquina. En la Ilustración 2 puede verse una perspectiva de conjunto de uno de los cilindros clasificadores.

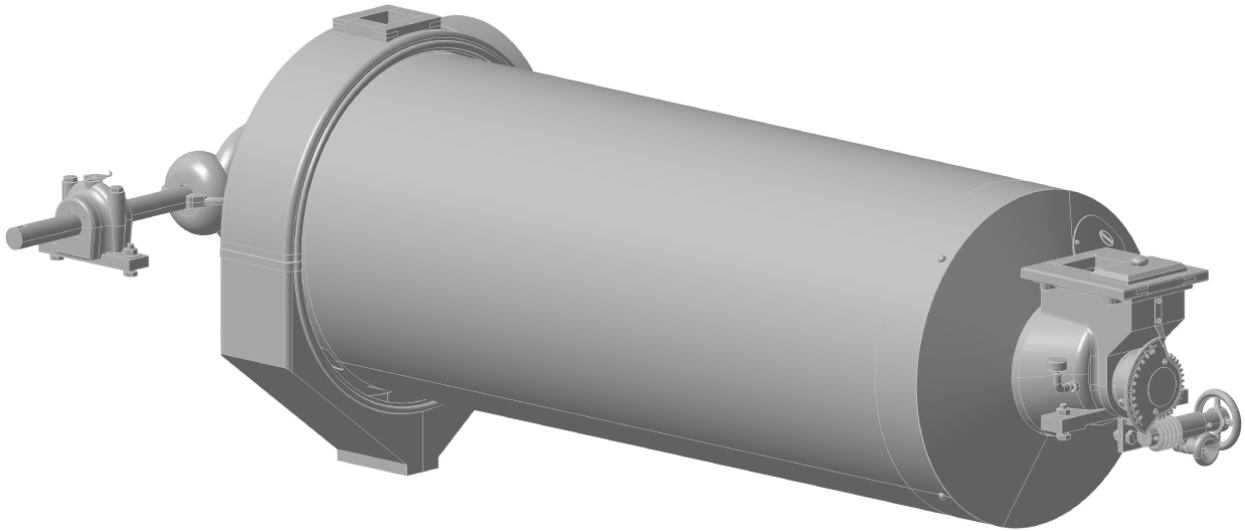


Ilustración 2 – Perspectiva de uno de los tres cilindros clasificadores.

En la Ilustración 3 se han representado los mencionados subsistemas identificados con colores. Los granos entran al cilindro a través de la tolva de alimentación, representada en naranja. La tolva de alimentación da entrada al grano al tambor formado por la chapa alveolada y sus radios en rojo. La parte seleccionada del grano es introducida en un canalón con un tornillo sin fin en su interior que ayuda a transportar los granos hasta el extremo de salida del canalón, ambos representados en verde. La inclinación del canalón puede ser regulada por el regulador, representado en amarillo. Los granos seleccionados y rechazados salen por el extremo de salida del cilindro en flujos separados gracias al separador-aspirador, representado en azul. Los cojinetes, engranajes y ejes encargados de la transmisión mecánica están representados en gris y el batidor en morado, aunque en la Ilustración 3 no se distinguió al estar oculto por el canalón.

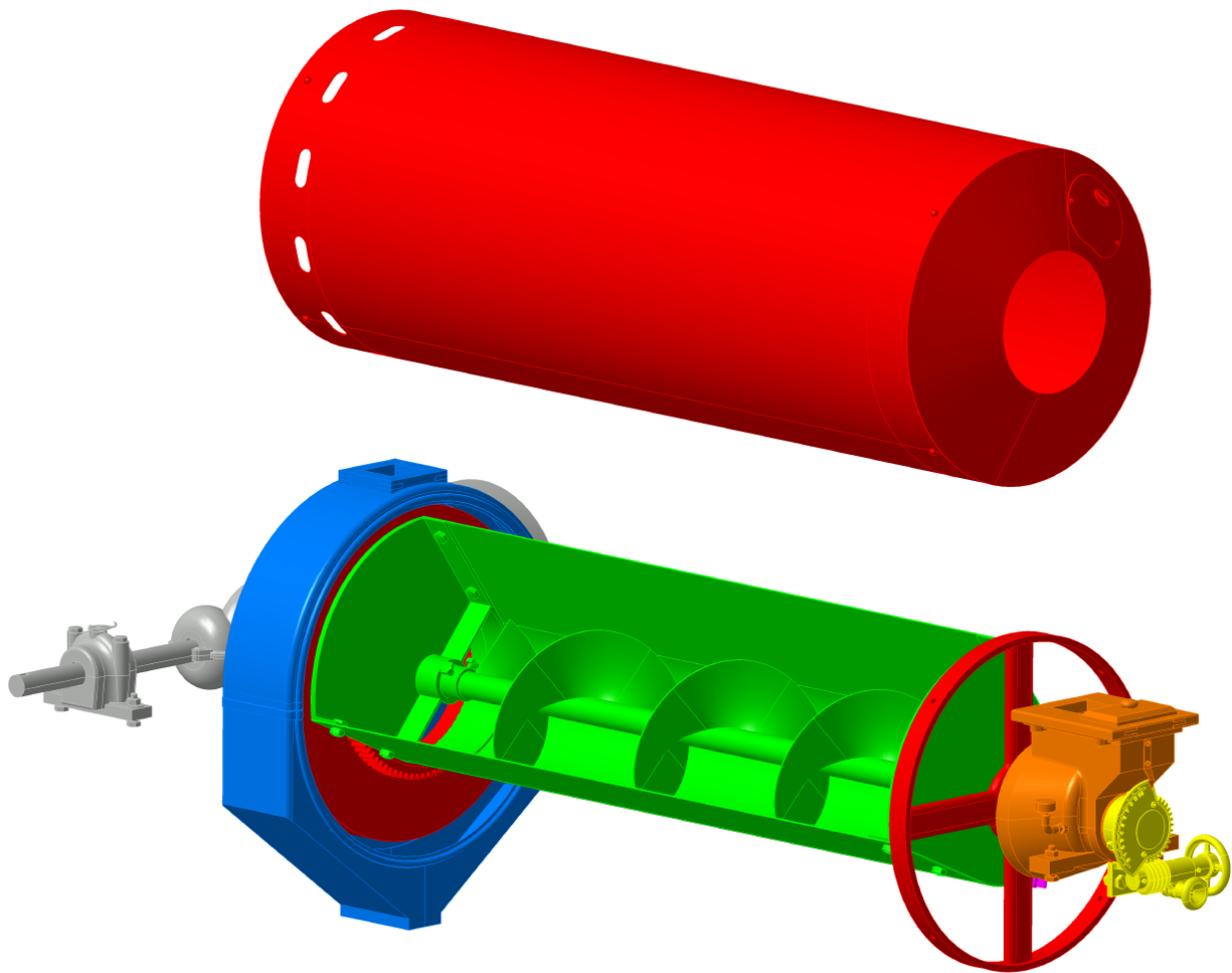


Ilustración 3 – Sistemas que componen un cilindro clasificador.

En la Ilustración 4 puede verse una vista explosionada del cilindro, donde sí puede distinguirse el batidor que en la Ilustración 3 quedaba oculto.

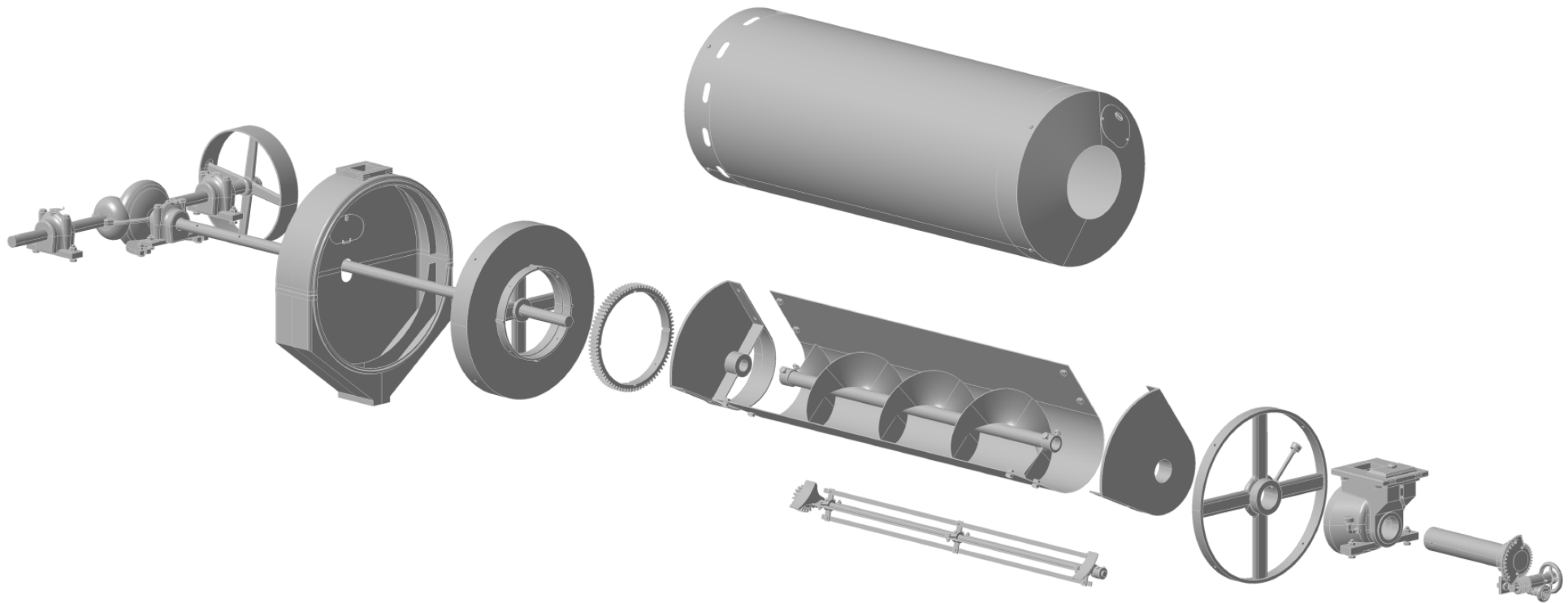


Ilustración 4 – Vista explosionada de un cilindro clasificador.

### 3.4.1 Tolva de alimentación

La tolva de alimentación tiene varias funciones. Primero, sirve como tolva para los granos que entran al cilindro clasificador. Por otro lado, sirve como soporte a la camisa que hace de cojinete y apoyo al eje principal (eje longitudinal) del cilindro. Incorpora una aceitera para lubricar por gravedad al eje longitudinal y la camisa que le sirve de cojinete. También funciona como punto de anclaje del cilindro a la estructura primaria de la máquina y, además de la apertura superior para la entrada del grano, tiene otra apertura a su lado que puede servir como registro para comprobar que no se producen atascos en el interior de la tolva o para añadir una toma de aspiración extra para partículas de polvo y partículas ligeras. En la Ilustración 5 puede encontrarse una vista la situación de la tolva de alimentación en un cilindro clasificador.

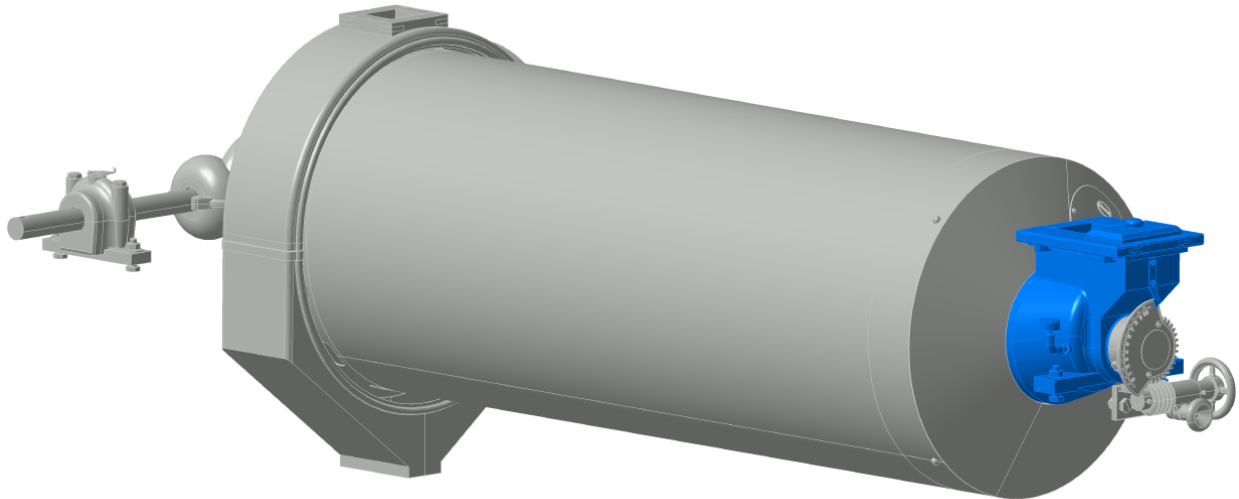


Ilustración 5 – Situación de la tolva de alimentación.

En la Ilustración 6 se han representado dos perspectivas de la tolva de alimentación junto con la camisa que sirve de cojinete al eje principal, una ruleta numerada y un piñón que forman parte del regulador y que se explicarán en detalle más adelante. La tolva de alimentación se compone de una carcasa de hierro fundido con una apertura superior donde tiene atornillado un marco de madera con dos aperturas, que como se ha mencionado anteriormente, una sirve para la entrada del grano y la otra como registro o para instalar una toma extra de aspiración. También puede apreciarse la aceitera, instalada en uno de los laterales de la tolva y los herrajes que sirven de anclaje del cilindro clasificador a la estructura principal.

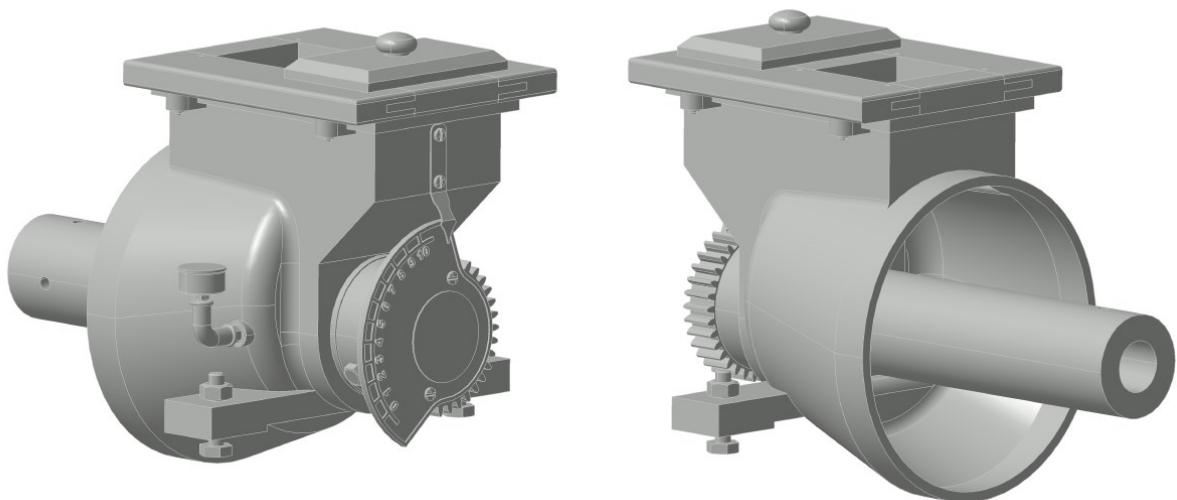


Ilustración 6 – Perspectivas de la tolva de alimentación.

En la Ilustración 7 pueden verse dos cortes diferentes en perspectiva de la tolva de alimentación con el recorrido que seguirían los granos por su interior representados por las líneas curvas en azul. El grano entra por la parte superior de la tolva, rodea a la camisa que sirve de cojinete y apoyo para el eje principal del cilindro y sale hacia el interior del cilindro clasificador. En esta imagen puede verse también la estructura interna de la pieza de hierro fundido, apreciándose la cavidad que sirve de alojamiento para la camisa cilíndrica. Por su parte, el marco de madera está compuesto de listones ensamblados por uniones de espiga y caja, como puede apreciarse en el Detalle A.

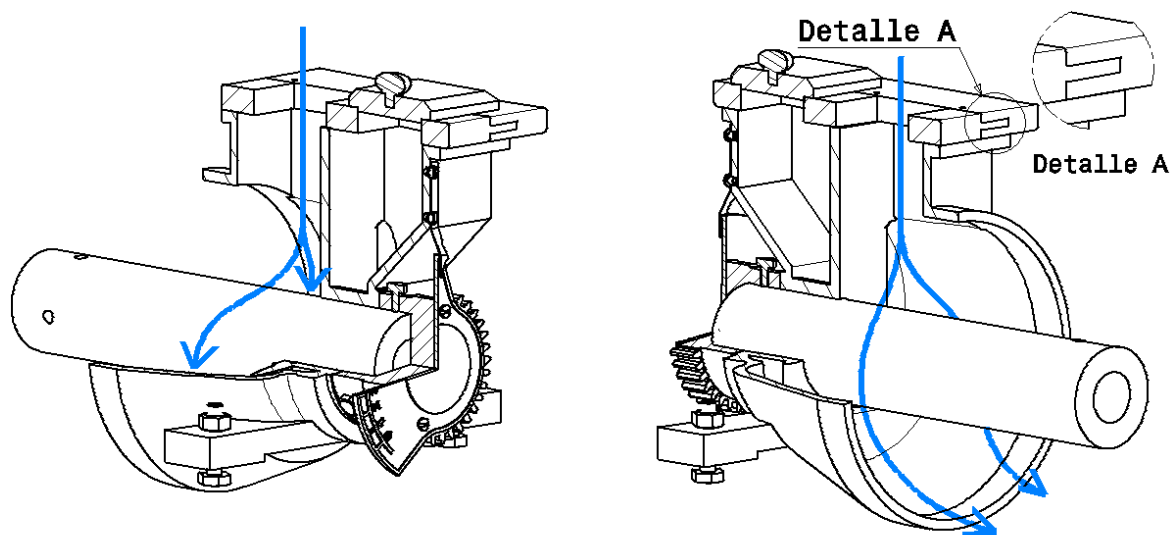


Ilustración 7 – Recorrido de los granos por el interior de la tolva de alimentación.

En la Ilustración 8 puede observarse una vista explosionada de todo el conjunto, donde el lector podrá ver la forma de los elementos que se han mencionado más arriba y apreciar la forma en que están ensamblados.

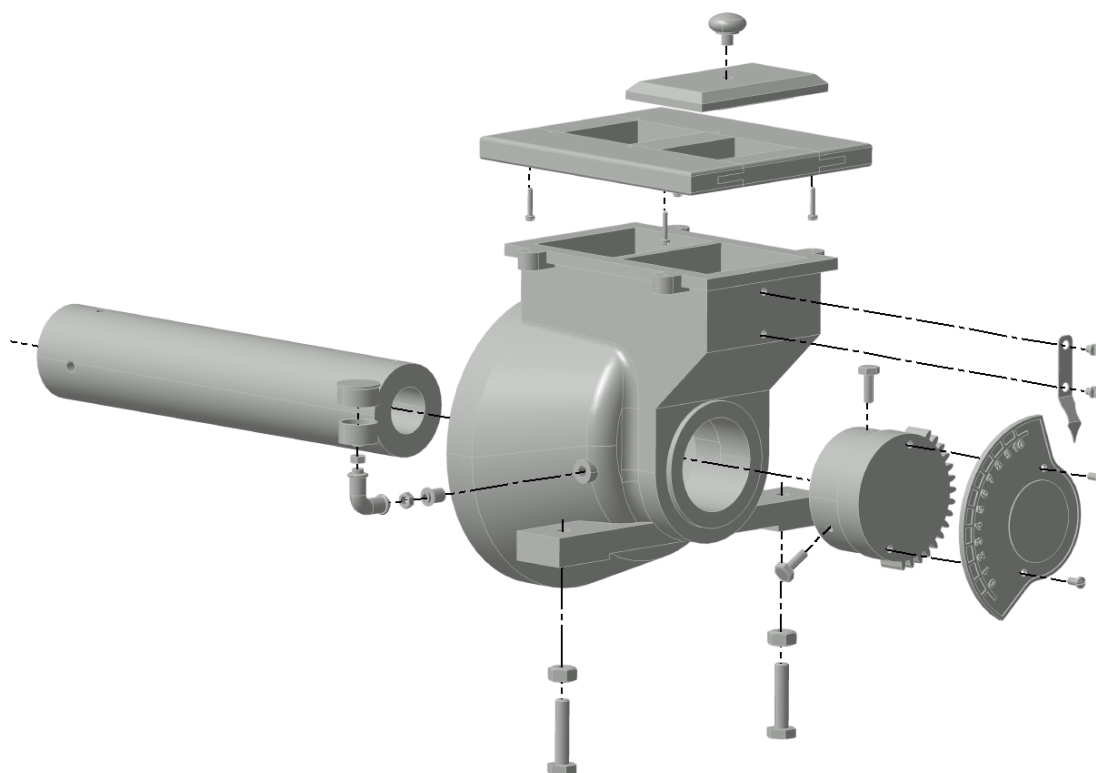


Ilustración 8 – Vista explosionada de la tolva de alimentación.

### 3.4.2 Chapa alveolada

A continuación va a describirse uno de los elementos fundamentales del triarvejón: la chapa alveolada. Antes de comenzar su descripción hay que aclarar que en esta memoria se ha empleado una simplificación de la chapa sin alveolos, lisa, en las representaciones de conjuntos, ya que debido al mayor tamaño del archivo de la chapa no simplificada y la limitada capacidad de memoria del ordenador empleado para realizar el modelado 3D, no fue posible *renderizar* imágenes de conjunto con la chapa con alveolos. Así, en todas las imágenes de conjunto donde aparezca la chapa alveolada, se ha empleado un modelado 3D simplificado sin alveolos, como en la Ilustración 9, y sólo se ha representado la chapa alveolada no simplificada en la Ilustración 11, sin otros elementos más que la propia chapa alveolada.

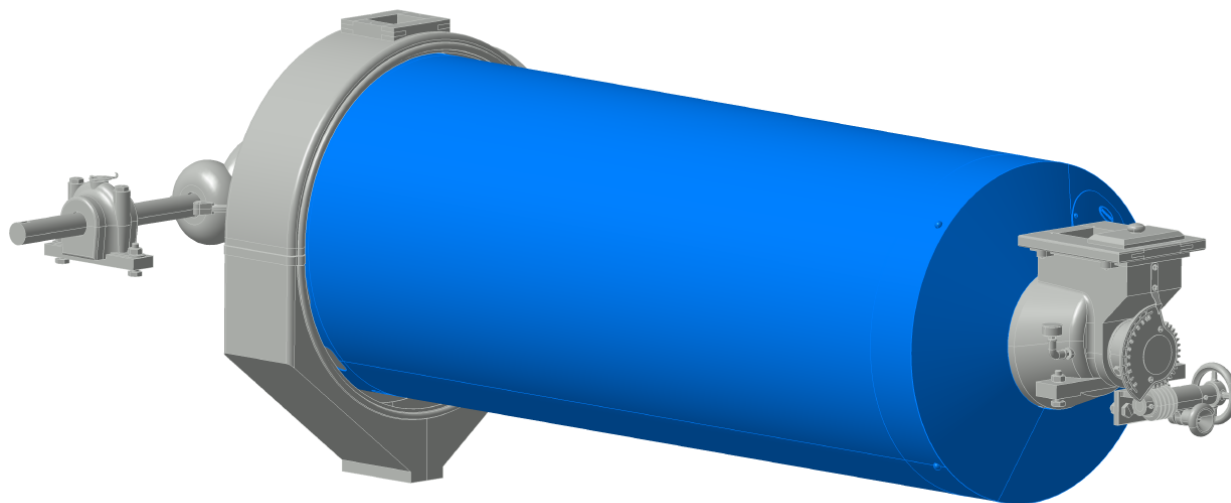


Ilustración 9 – Situación de la chapa alveolada.

En la Ilustración 9 puede verse la situación que ocupa la chapa alveolada en el conjunto del cilindro clasificador. Por su parte, en la Ilustración 10 puede observarse una comparativa entre los tamaños de los tres cilindros. Los dos cilindros superiores son iguales en tamaño y el cilindro inferior es más pequeño. En cuanto a sus alveolos, los alveolos del cilindro superior e inferior son más pequeños, mientras que los alveolos del cilindro intermedio son un poco mayores. La superficie útil del primer cilindro —superficie con alveolos embutidos— es de  $1.38\text{m} \cdot 2\pi \cdot 0.3\text{m} \approx 2.6\text{m}^2$ , la cual marca el límite de procesamiento de la máquina, ya que todo el grano que entra en la máquina tiene que pasar primero por dicho cilindro.

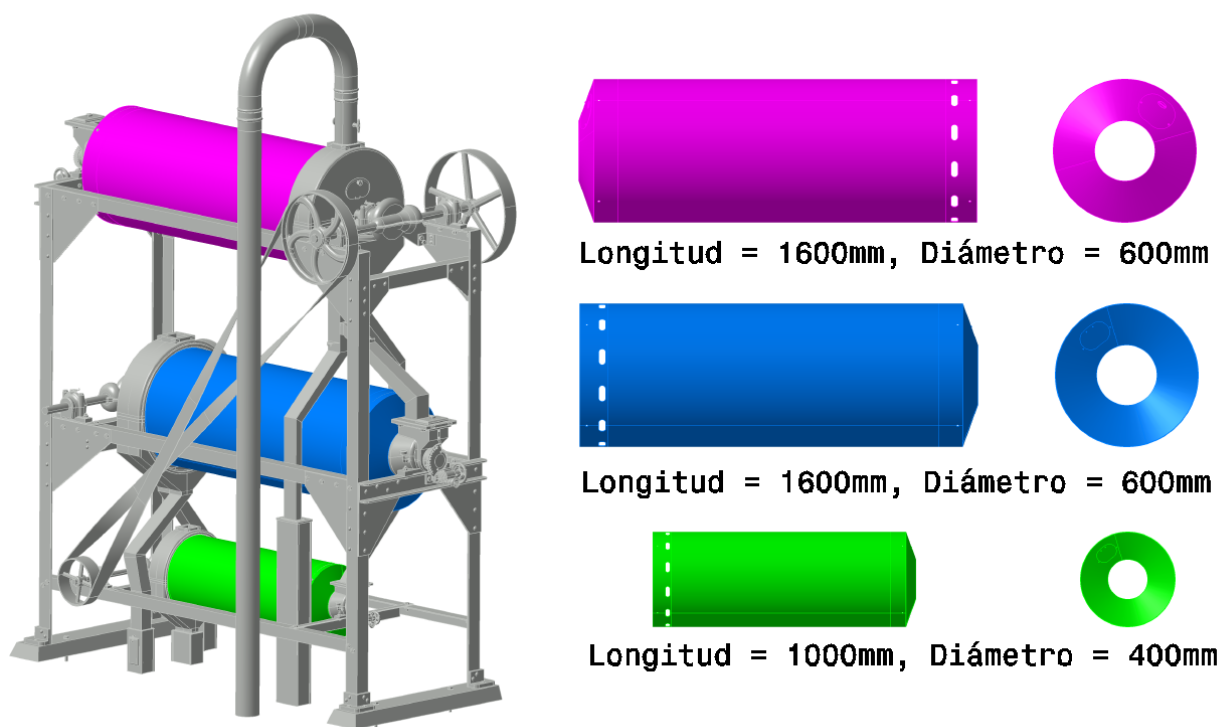


Ilustración 10 – Dimensiones aproximadas de las tres chapas alveoladas.



En la Ilustración 11 se ha representado un corte en perspectiva de la chapa alveolada. Está fabricada a partir de una lámina de acero de aproximadamente 2mm de espesor a la que se le ha dado forma cilíndrica. Para crear los alveolos parece que se ha empleado un proceso de embutición en frío, dado el brillo y la suavidad de la cavidad interna de los alveolos. Además, la chapa incorpora en el extremo opuesto al de la tolva de alimentación unos orificios punzonados que sirven para dar salida al grano que no ha sido seleccionado. Sobre esto se volverá más adelante. En el Detalle A de la Ilustración 11 pueden observarse dichos orificios de salida. Por su parte, en el Detalle B puede verse la forma semiesférica de los alveolos creados por embutición.

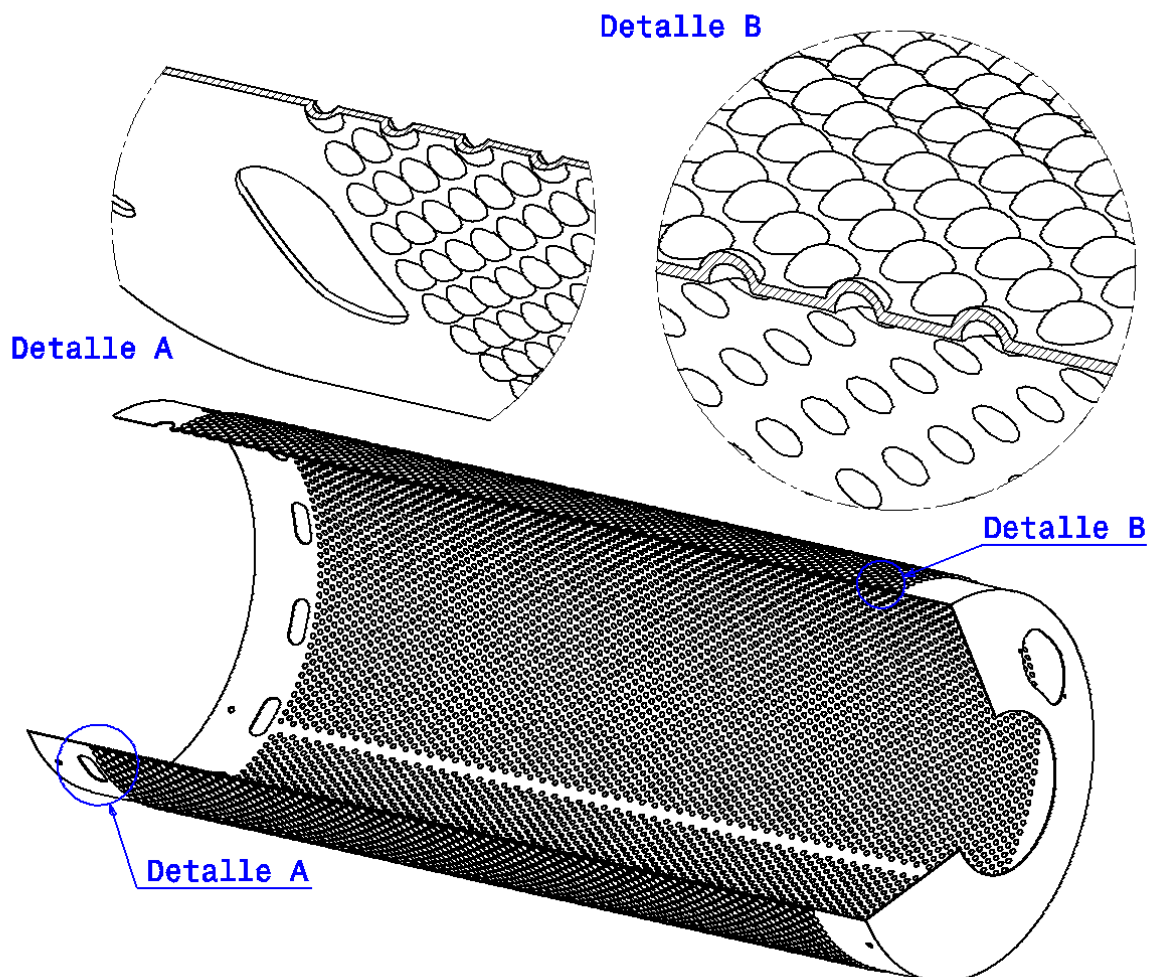


Ilustración 11 – Corte de la chapa alveolada. Detalle de los alveolos y orificios de salida de granos.

El funcionamiento de la máquina se basa en que a medida que giran los cilindros alveolados, los granos se van depositando en las cavidades o alveolos practicados en la chapa. Dependiendo del tamaño de estos alveolos, se conseguirá un resultado u otro. Si los alveolos son más pequeños que el trigo, se conseguirá seleccionar semillas más pequeñas que el trigo por un lado y trigo junto con semillas más grandes que el trigo por el lado del flujo de rechazo. Por tanto, con una chapa con alveolos más pequeños del trigo se consigue separar los granos más pequeños que el trigo de la mezcla con impurezas inicial. Por su parte, si los alveolos son del tamaño del trigo, se conseguirá seleccionar trigo y semillas más pequeñas que el trigo en el flujo del grano seleccionado y semillas más grandes que el trigo por el lado del flujo de rechazo. Con lo que con una chapa con alveolos del tamaño del trigo se consigue separar los granos más grandes que el trigo de la mezcla con impurezas inicial. Esto es lo que se pretende mostrar en la Ilustración 12 e Ilustración 13.

En la Ilustración 12 puede verse una sección de un cilindro clasificador con chapa alveolada con alveolos más pequeños que el trigo. Puede ver que a medida que el cilindro va girando, los granos van quedando retenidos en las cavidades practicadas en la chapa. A medida que los granos van ascendiendo acompañando a la chapa en su movimiento, los granos más grandes que los alveolos caen pronto de nuevo a la parte inferior del cilindro. Mientras, los granos más pequeños se elevan lo suficiente como para que al caer lo hagan sobre un canalón dispuesto en el interior del cilindro con el objetivo de separar los granos seleccionados de los rechazados, o no seleccionados.

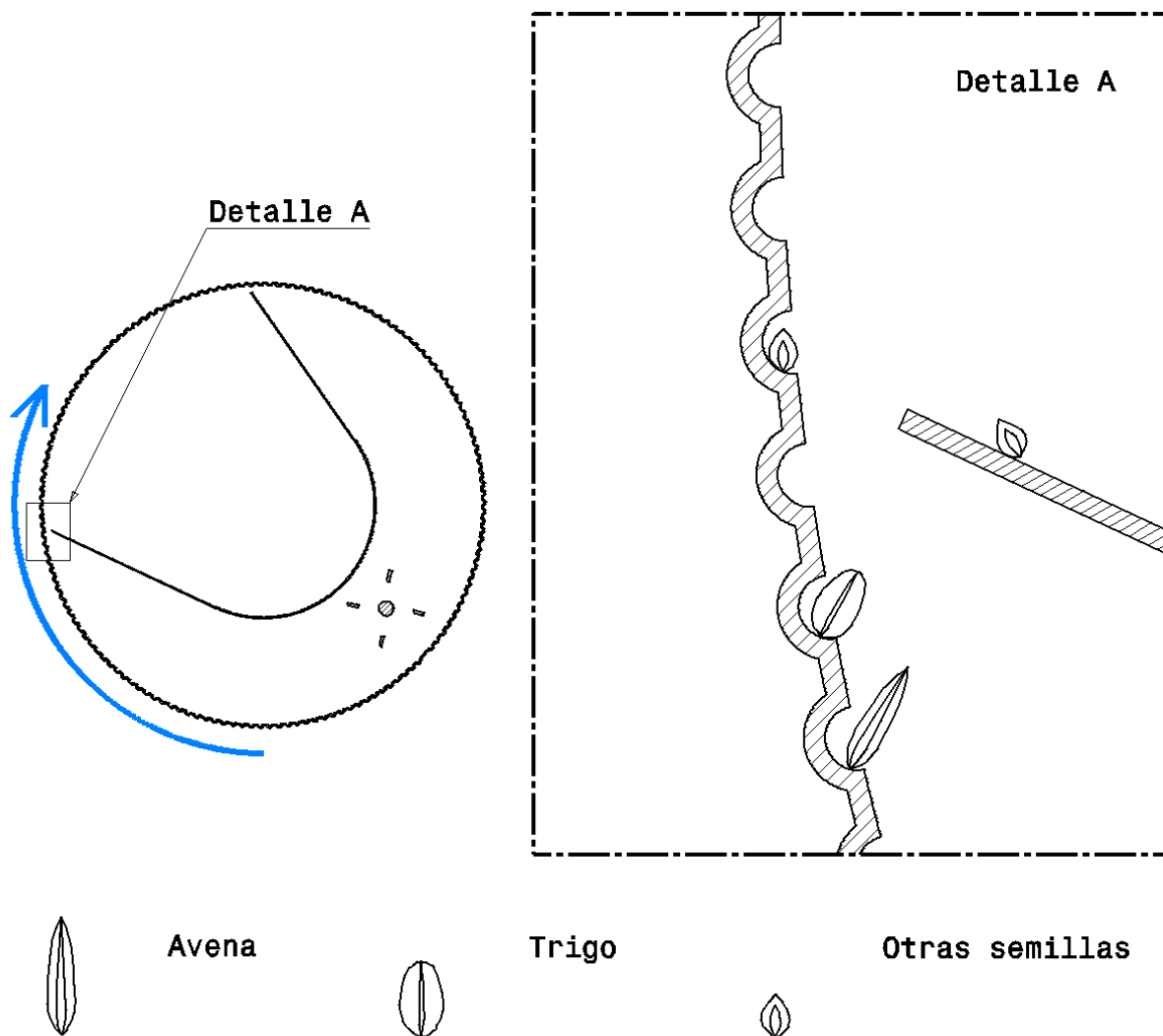


Ilustración 12 – Sección chapa alveolada para seleccionar granos más pequeños que el trigo.

En la Ilustración 13 puede verse una sección de un cilindro clasificador con chapa alveolada con alveolos del tamaño del trigo. En ella puede observarse que a medida que el cilindro va girando, los granos van quedando retenidos en las cavidades practicadas en la chapa. A medida que los granos van ascendiendo acompañando a la chapa en su movimiento, los granos más grandes que los alveolos —y por tanto más grandes que el trigo— caen pronto de nuevo a la parte inferior del cilindro. Mientras, los granos más pequeños y el trigo se elevan lo suficiente como para que al caer lo hagan sobre el canalón dispuesto en el interior del cilindro con el objetivo de separar los granos seleccionados de los rechazados, o no seleccionados.

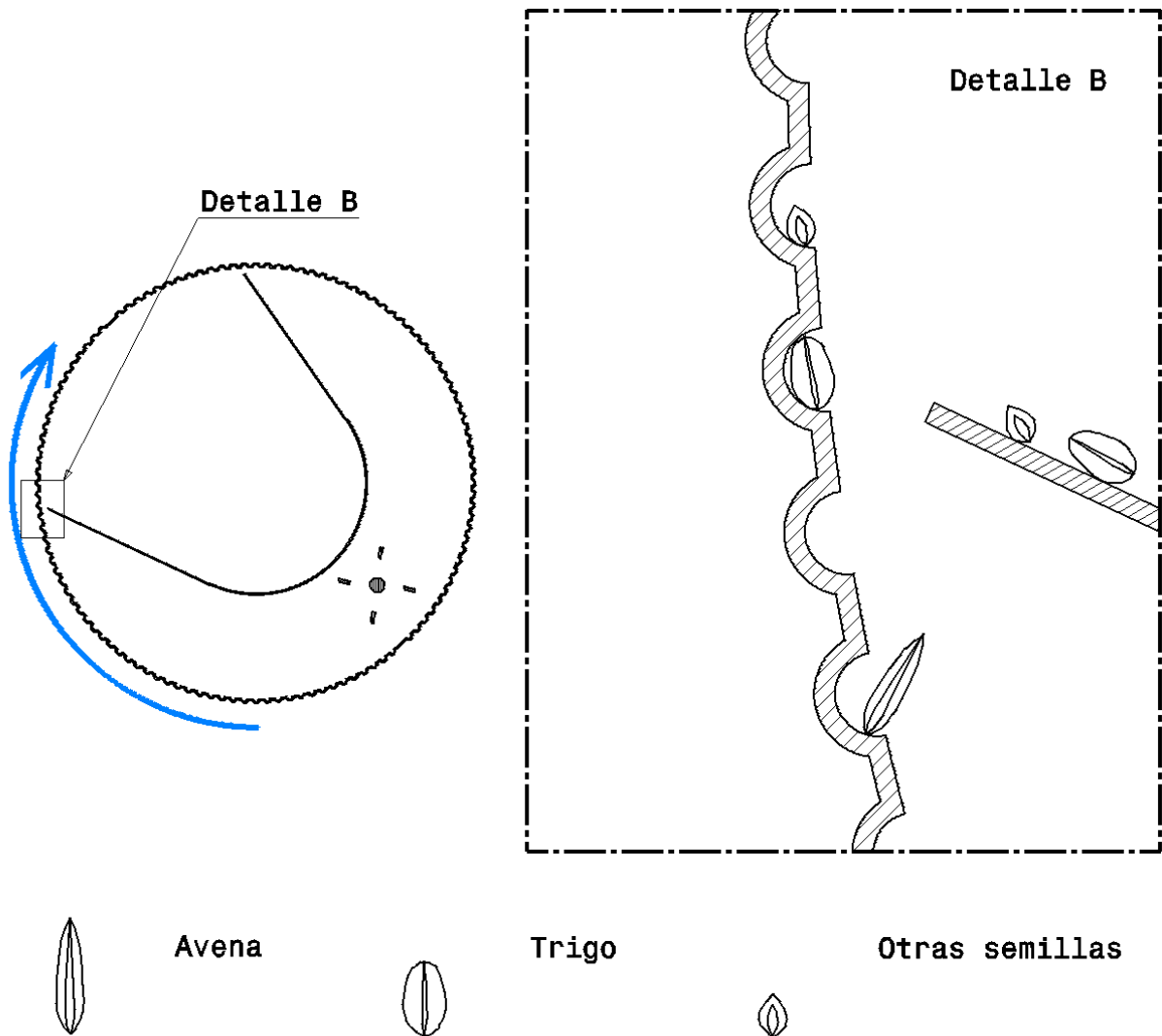


Ilustración 13 – Sección chapa alveolada para seleccionar trigo y granos más pequeños que el trigo.

La chapa alveolada se sustenta sobre dos ruedas, una anclada al eje principal y la otra gira loca apoyada sobre la camisa cilíndrica hueca que sirve de cojinete para el eje principal. Estas ruedas pueden verse en la Ilustración 14 a continuación. En ella se ha representado la chapa alveolada con transparencia, para que pueda observarse la situación de las ruedas dentro del cilindro clasificador. Ambas ruedas están fabricadas en hierro fundido.

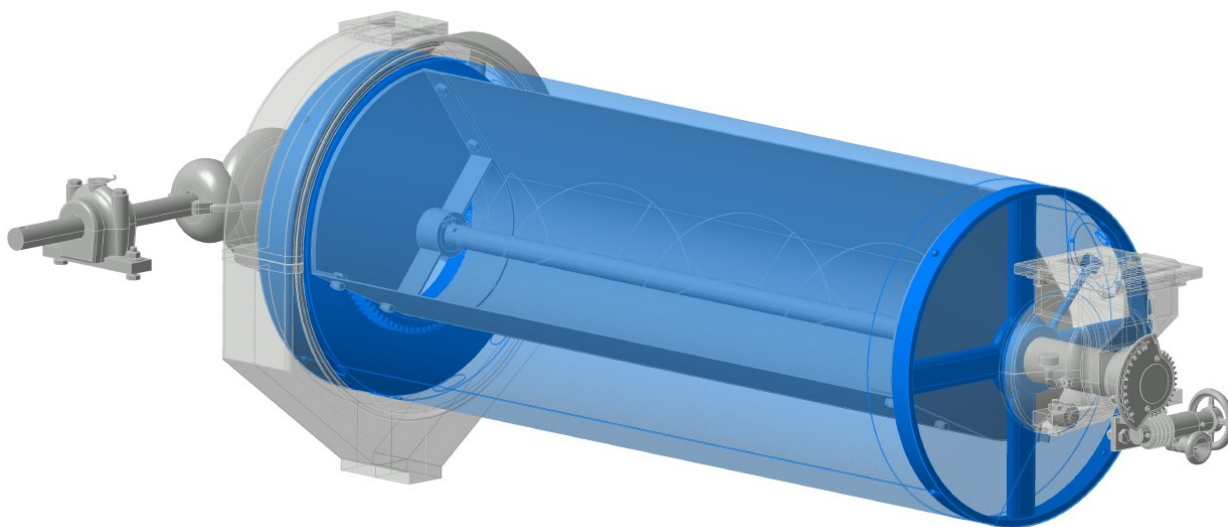


Ilustración 14 – Vista de los radios que sustentan la chapa alveolada y canalón interno.

En la Ilustración 15 puede verse además una vista explosionada de la chapa alveolada y las ruedas que la sustentan sobre el eje principal y que le transmiten su movimiento. Obsérvese que la rueda más próxima a la tolva de alimentación tiene una aceitera para engrasar la unión entre rueda y camisa cilíndrica sobre la que gira loca. En esta vista también puede distinguirse la tapa de registro instalada en la chapa alveolada, por la que se accedería a la aceitera. Por último, destacar la forma de la rueda más alejada de la tolva de alimentación, hueca en el centro para facilitar la salida del canalón del grano seleccionado, como se verá más adelante, y la corona anular (conductor) que transmite el giro al piñón del batidor (conducido), como también se verá más adelante.

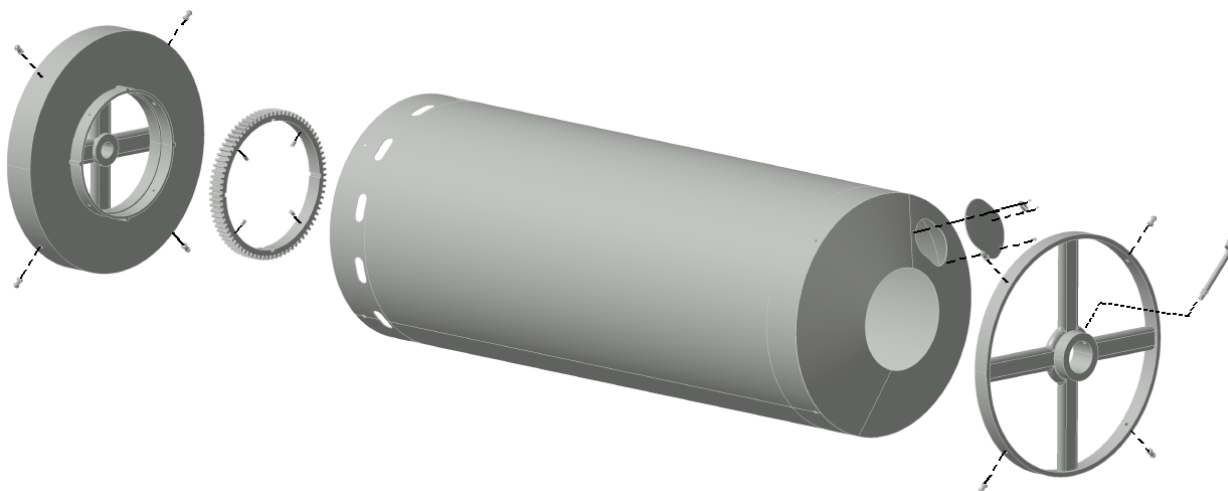


Ilustración 15 – Vista explosionada de la chapa alveolada y los radios que la sustentan.

### 3.4.3 Canalón y tornillo sin fin

Como se vio en la Ilustración 12 e Ilustración 13, en el interior del cilindro clasificador hay un canalón que sirve para recoger los granos que son seleccionados por la chapa alveolada y llevarlos hacia el extremo de salida de la máquina con un tornillo sin fin. En la Ilustración 16 puede verse la situación del canalón y tornillo sin fin en el interior del cilindro clasificador.

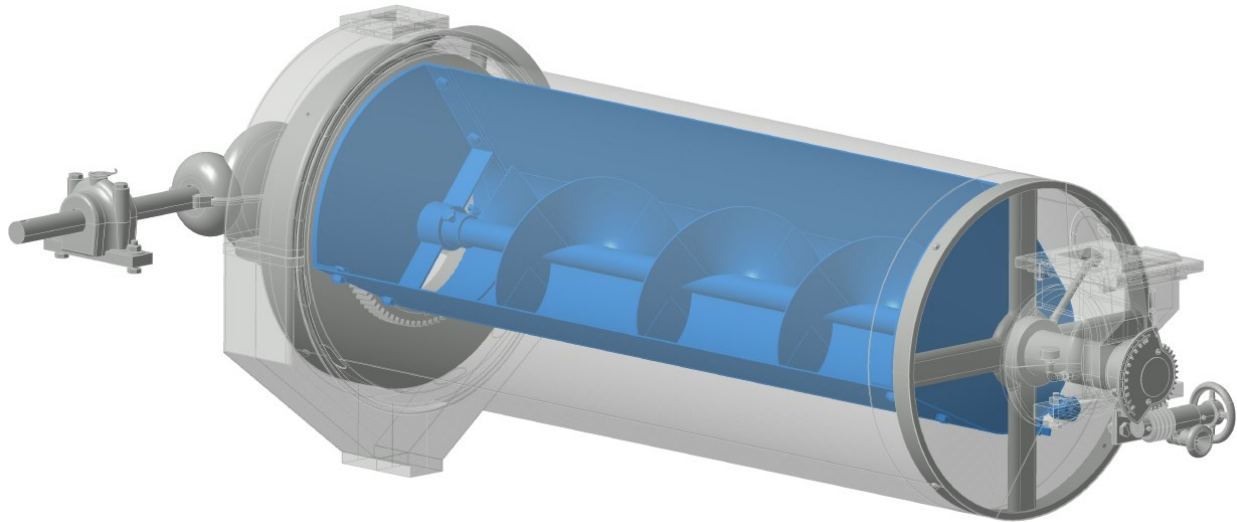


Ilustración 16 – Situación del canalón y tornillo sin fin.

En la Ilustración 17 se muestra el contacto del extremo de salida del canalón con la rueda de la chapa alveolada más alejada de la tolva de alimentación mostrada anteriormente. Como puede observarse, el extremo de salida del canalón encaja dentro del hueco de la rueda de la chapa alveolada, aunque no está ancladas una pieza a la otra, sino que se permite el giro de una pieza sobre la otra.

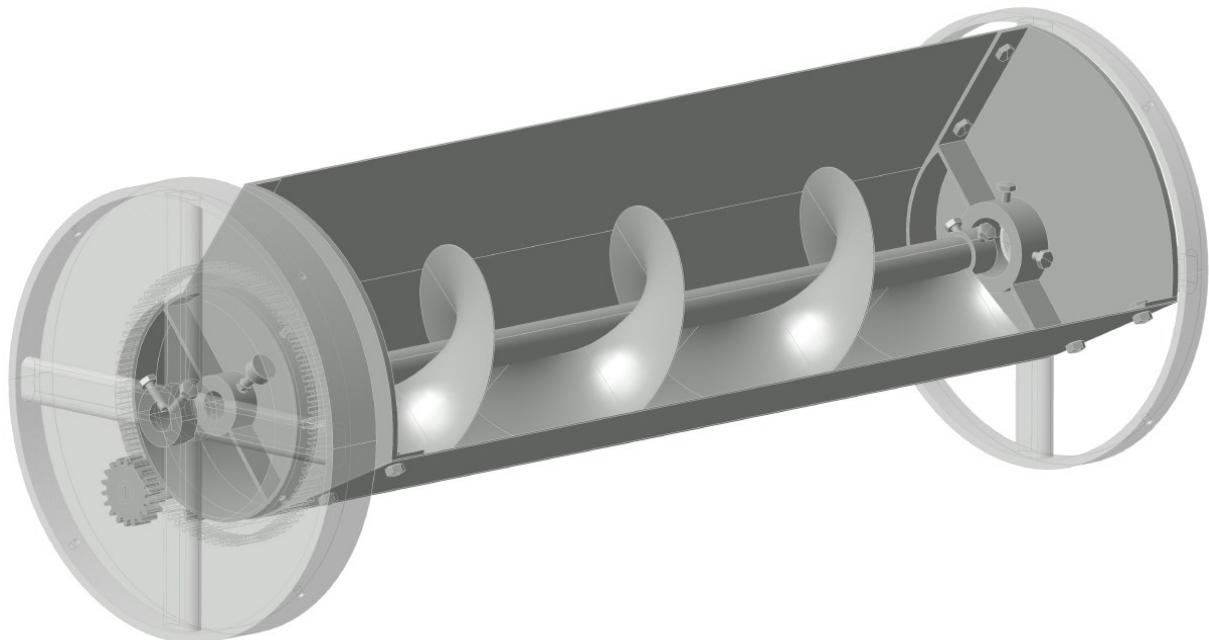


Ilustración 17 – Detalle contacto entre extremo de salida canalón y rueda de salida chapa alveolada.

En cuanto a la función del canalón y el tornillo sin fin, como ya se ha comentado antes, el canalón capta los granos que mejor se adaptan al tamaño de los alveolos de la chapa y el tornillo sin fin empuja esos granos hacia el extremo de salida del cilindro clasificador. Esto puede comprenderse mejor viendo la Ilustración 18, donde se

muestran los recorridos seguidos por los granos, tanto los seleccionados (en verde), como los no seleccionados (en azul). Así, la mezcla de granos entra por la tolva de alimentación, la tolva los conduce hacia el interior del cilindro donde la chapa alveolada, en su constante giro, va elevando los granos que mejor se adaptan a sus alveolos hasta que estos caen en el interior del canalón y son empujados por el tornillo sin fin hacia el extremo de salida del cilindro clasificador (flujo en verde). Por su parte, los granos que no son seleccionados, caen de nuevo al interior de la chapa alveolada y terminan saliendo del cilindro por los orificios punzonados en la chapa alveolada y que ya se presentaron en el Detalle A de la Ilustración 11.

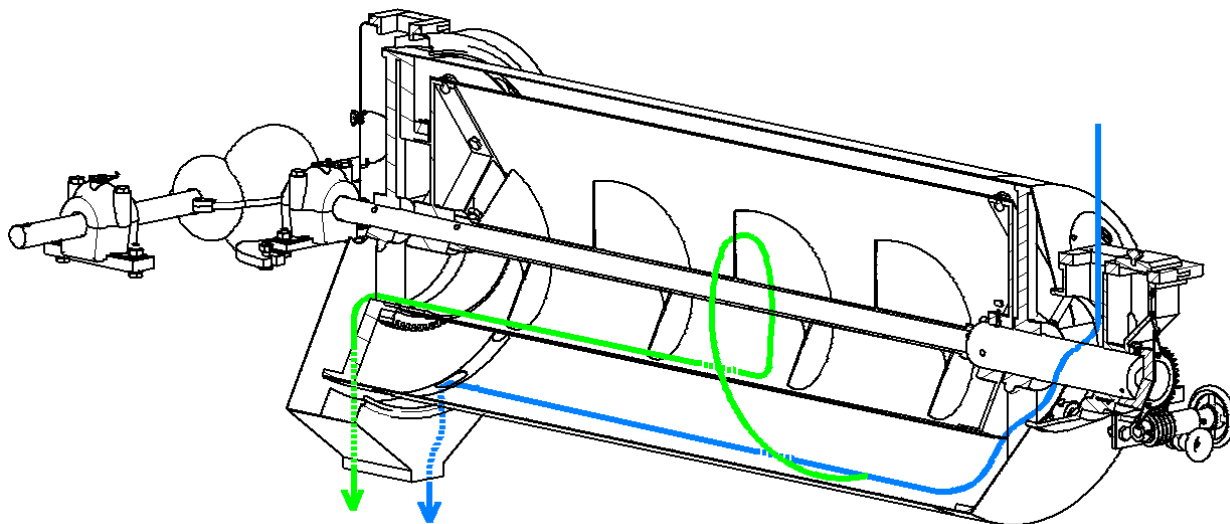


Ilustración 18 – Recorrido de los granos por el interior del cilindro clasificador.

En la Ilustración 19 se muestra una vista explosionada del canalón y el tornillo sin fin, con una perspectiva desde el extremo de salida del cilindro clasificador, o parte trasera. Destacar la diferencia de diámetro de los orificios de las piezas de los extremos del canalón. La pieza del extremo identificado como parte trasera tiene un orificio de diámetro suficiente como para que pase por él el eje longitudinal del cilindro clasificador. Esta pieza gira localmente sobre el eje longitudinal, por lo que tiene además una aceitera que lubrica por gravedad dicha unión. Por su parte, la pieza del extremo identificado como parte frontal tiene un orificio de mayor diámetro que la primera, ya que va anclada a la camisa cilíndrica vista anteriormente —y sobre la que se profundizará más adelante—, la cual tiene un diámetro mayor que el eje. Para el anclaje entre la pieza del extremo del canalón de la parte frontal y la camisa hueca que aloja al eje se emplean dos bulones que también pueden apreciarse en esta ilustración. Sobre el tornillo sin fin, sólo decir que es solidario al eje longitudinal, al que va anclado con los 4 bulones de la ilustración. El material de las piezas de los extremos del canalón es hierro fundido. El material del canalón en sí y el tornillo sin fin es chapa galvanizada.

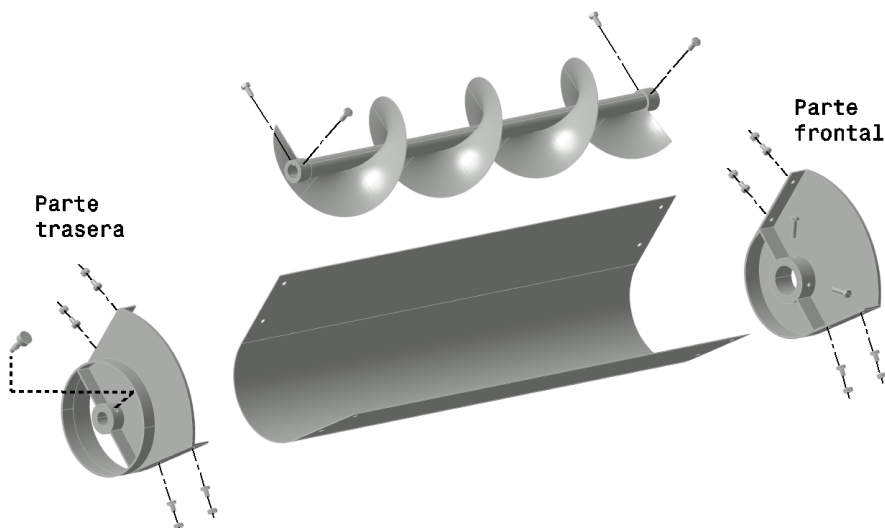


Ilustración 19 – Vista explosionada del canalón y tornillo sin fin.



### 3.4.4 Regulador de inclinación del canalón

A continuación va a presentarse el regulador de inclinación del canalón, aunque algunas de sus partes ya han sido introducidas un poco más atrás en esta memoria. El propósito de este elemento es el de variar la inclinación del canalón, con el objetivo de obtener una clasificación más o menos exigente. Esto quiere decir que a medida que el canalón se gira hacia una posición más horizontal, la clasificación será menos exigente, ya que al estar más tumbado caerán a su interior granos que se adaptan menos a la forma de los alveolos. Por el contrario, cuanto más vertical se fije al canalón, sólo los granos que mejor se adaptan a la forma de los alveolos lograrán caer dentro del canalón. Para entenderlo mejor, véanse la Ilustración 12 y la Ilustración 13.

En la Ilustración 20 puede identificarse la situación que ocupa el regulador de inclinación del canalón en el cilindro clasificador. Nótese que se ha dado cierta transparencia a la tolva de alimentación y a la chapa alveolada, para que el lector pueda apreciar todos los elementos que componen el regulador en el lugar que les corresponde dentro del cilindro clasificador.

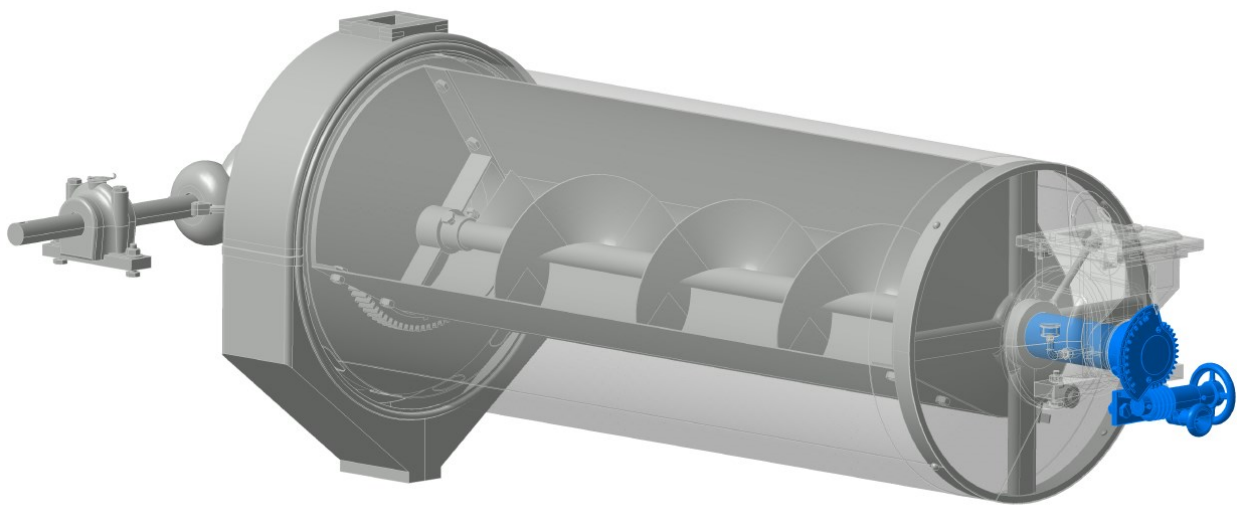


Ilustración 20 – Situación del regulador de inclinación del canalón.

Como puede observarse en la Ilustración 21, el regulador de inclinación del canalón lo forma un tornillo sin fin y una rueda dentada, también incorpora un dial graduado del 0 al 10 para controlar la inclinación del canalón, un pomo para mover el tornillo sin fin y otro para fijarlo en una posición, el herraje de sujeción del tornillo sin fin a la estructura principal de la máquina y por último, la camisa cilíndrica que sirve de cojinete al eje longitudinal y que transmite el movimiento de inclinación al canalón.

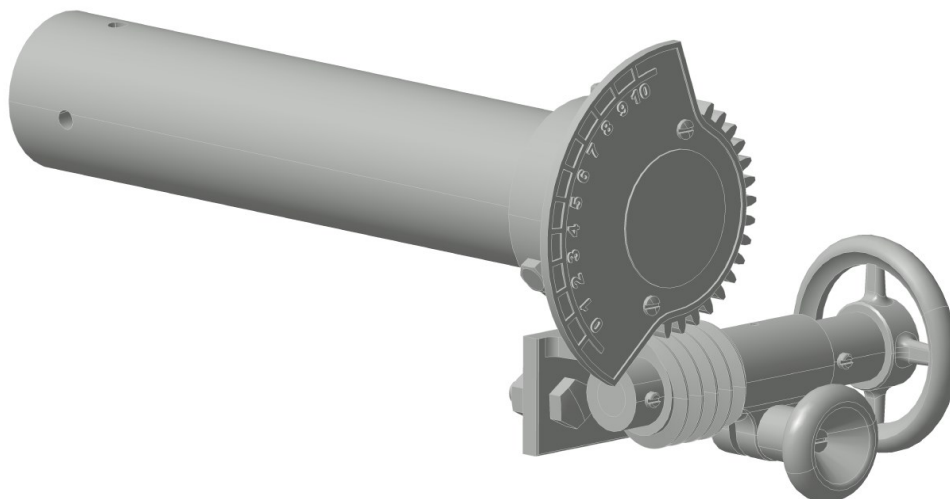


Ilustración 21 – Perspectiva del regulador de inclinación del canalón.

En la Ilustración 22 se presenta una vista explosionada de las partes que conforman el regulador de inclinación del canalón. Todos los elementos que componen el regulador de inclinación del canalón están hechos de hierro fundido. Determinadas partes han sido mecanizadas para obtener unos acabados más precisos en cuanto a dimensiones. Es el caso del tornillo sin fin y la rueda dentada, los orificios roscados de ambos pomos y la camisa cilíndrica que sirve de cojinete para el eje longitudinal y apoyo para la rueda loca de la chapa alveolada.

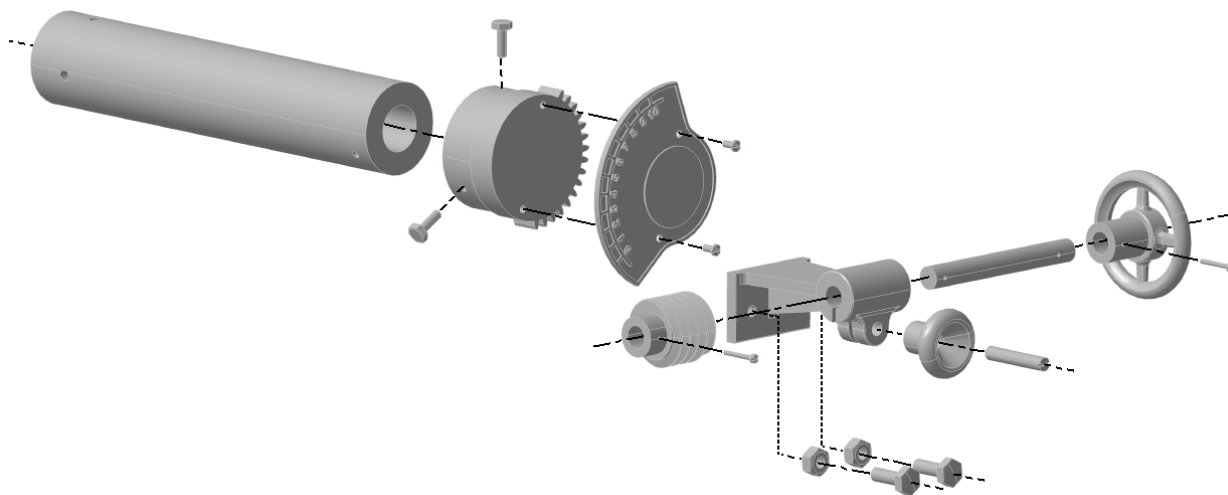


Ilustración 22 – Vista explosionada del regulador de inclinación del canalón.

Para entender mejor la transmisión de los movimientos entre el regulador de inclinación del canalón y el canalón y entre el eje longitudinal y la chapa alveolada, se ha creado la Ilustración 23, donde se verá que ambos grados de libertad son posibles y no se ven afectados el uno por el otro ni viceversa. Para ello, se han representado del mismo color los elementos que se muevan de manera solidaria respectivamente. Así, en azul se tiene a los ejes secundario y principal, las dos ruedas que sustentan a la chapa alveolada y el tornillo sin fin del interior del canalón. Todos ellos se comparten el movimiento de giro. Por otro lado, el canalón y su regulador de inclinación aparecen representados en verde, los cuales también comparten el movimiento de giro.

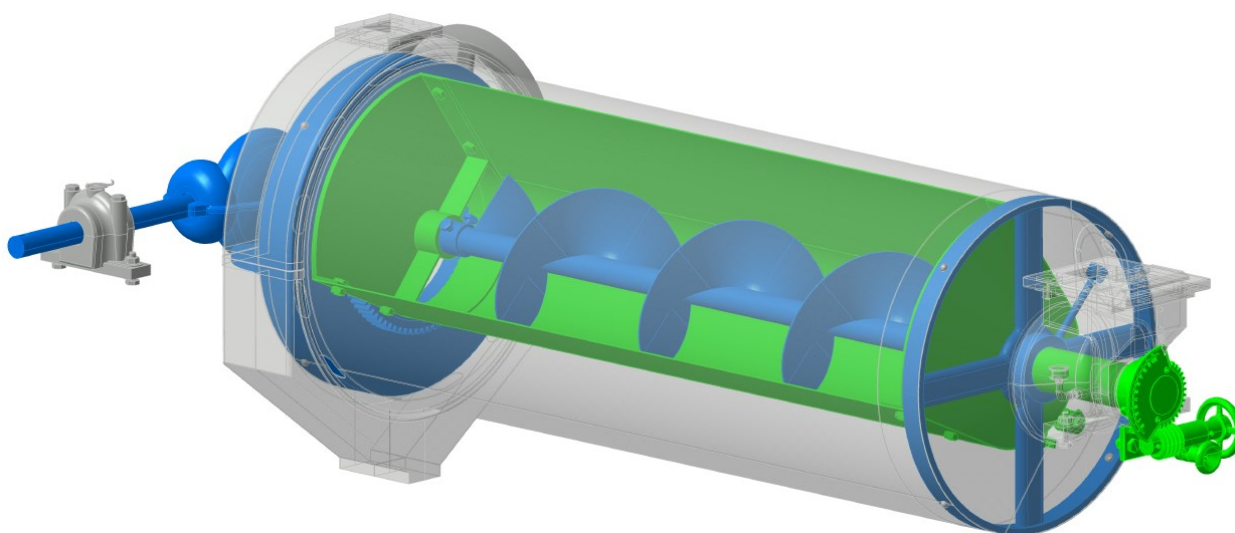


Ilustración 23 – Elementos móviles y elementos fijos regulables.

### 3.4.5 Batidor

Este elemento, como su propio nombre indica, es el encargado de batir y remover el volumen de granos que va quedando en el fondo del cilindro clasificador durante el giro, para ayudar a que los granos se repartan y se extiendan mejor por la superficie interior de la chapa alveolada. Es un elemento opcional, no es vital para el funcionamiento de la máquina, pero mejora su eficiencia. En la Ilustración 24 puede observarse la situación que ocupa el batidor dentro del cilindro clasificador. Se ha dado cierta transparencia a la chapa alveolada para que pueda apreciarse.

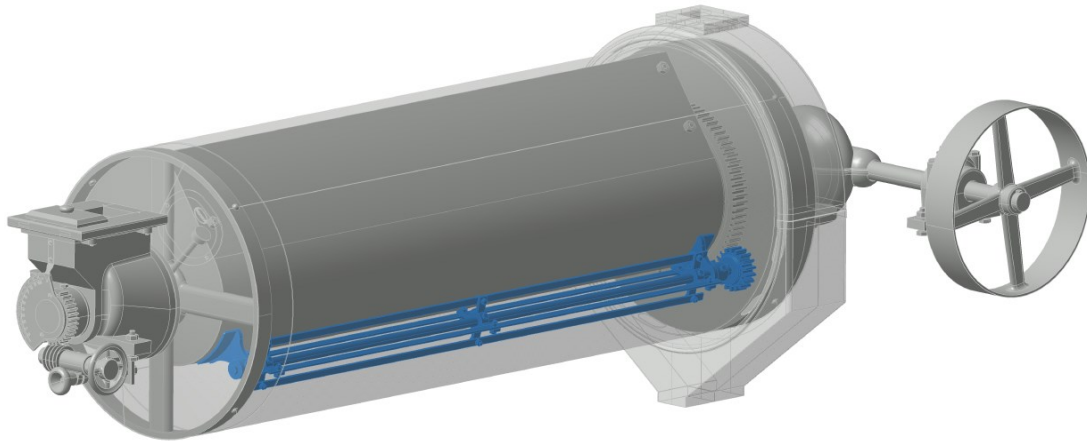


Ilustración 24 – Situación del batidor.

Para ilustrar de qué manera mejora el batidor el rendimiento de la máquina, se ha generado la Ilustración 25. En ella puede observarse una representación aproximada de la sección del volumen de granos que se formaría en el interior del cilindro a medida que éste va girando. El área con contorno verde representa a la sección aproximada que ocuparía el volumen de granos si la máquina no incorporara batidor. La línea morada representa el perfil del volumen de granos que conseguiría al instalar el batidor. Nótese que con la instalación del batidor se consigue un mejor reparto del volumen de granos por el fondo de la chapa alveolada, con lo que se consigue mayor superficie útil de trabajo y un aumento en la eficiencia de la máquina. En esta representación también pueden observarse los sentidos de giro de chapa alveolada y batidor respectivamente.

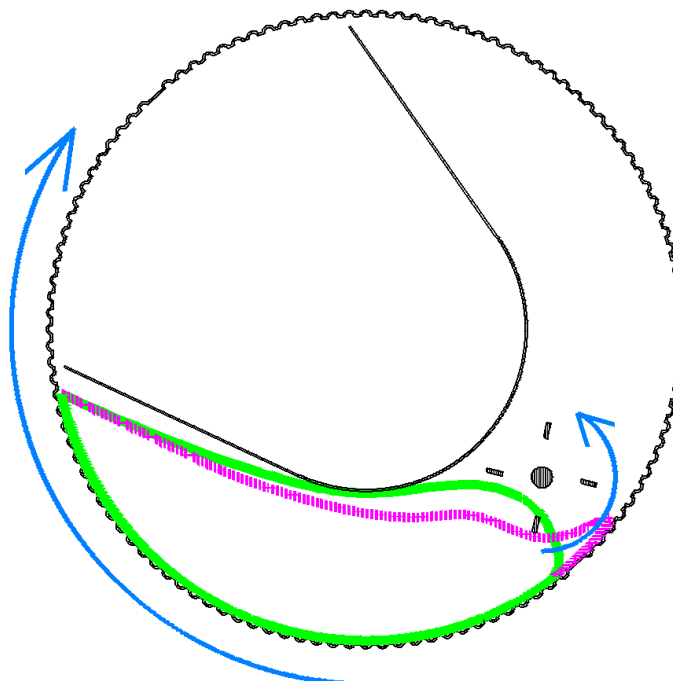


Ilustración 25 – Sentidos de giro de chapa alveolada y batidor. Diferencia entre uso y no uso del batidor.

En la Ilustración 26 puede verse una vista explosionada de los elementos que componen el batidor. Estos son: un piñón (conducido, como se verá a continuación), una chaveta y un retén para el piñón, dos herrajes para fijar el batidor al canalón, tres crucetas, las cuatro paletas, el eje y dos topes para que el eje no salga de su posición. Los herrajes y crucetas son de hierro fundido, las paletas son de lámina de acero y el piñón está mecanizado en acero.

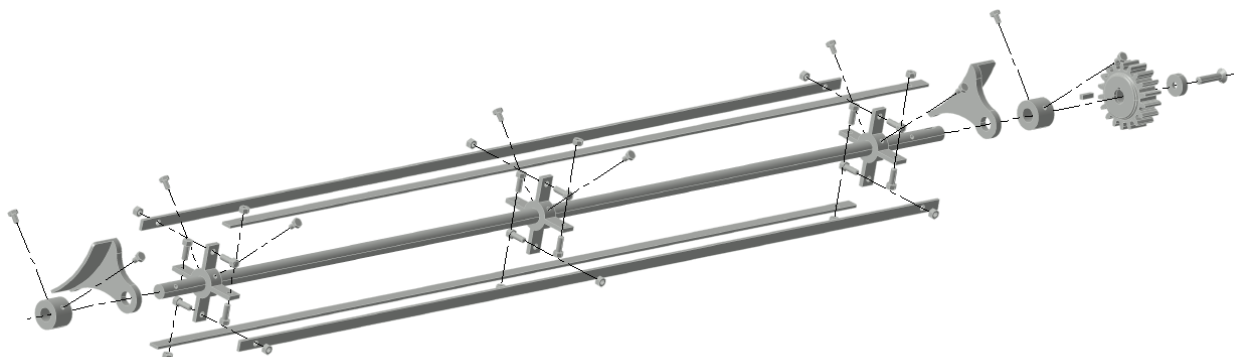


Ilustración 26 – Vista explosionada del batidor.

En la Ilustración 27 puede observarse más de cerca el mecanismo de transmisión que existe entre la corona anular montada en la rueda fija de la chapa alveolada (engranaje conductor, en verde) y el piñón del batidor (engranaje conducido, en azul). Esto concuerda con los sentidos de giro representados en la Ilustración 25.

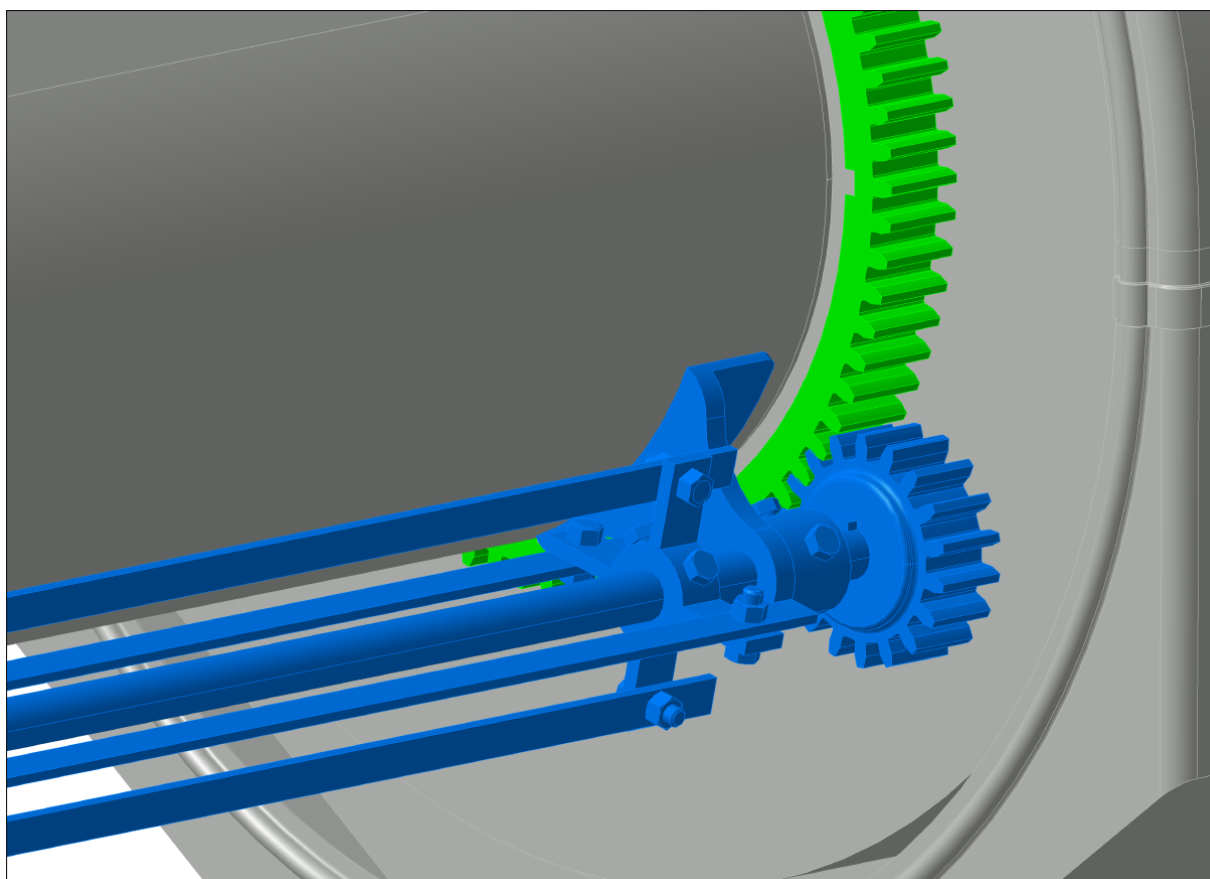


Ilustración 27 – Detalle de la transmisión corona anular (conductor) y piñón del batidor (conducido).

### 3.4.6 Separador-aspirador

A este elemento se le ha dado este nombre porque cumple dichas dos funciones principalmente. Por un lado, sirve de elemento separador para canalizar los granos seleccionados y rechazados en flujos separados. Por otro lado, también sirve de cámara para la aspiración de polvo y otras partículas livianas que quedan en suspensión tras la agitación que se produce de la mezcla inicial de granos en su paso por la máquina. En la Ilustración 28 puede verse la situación que ocupa el separador-aspirador en el cilindro clasificador.

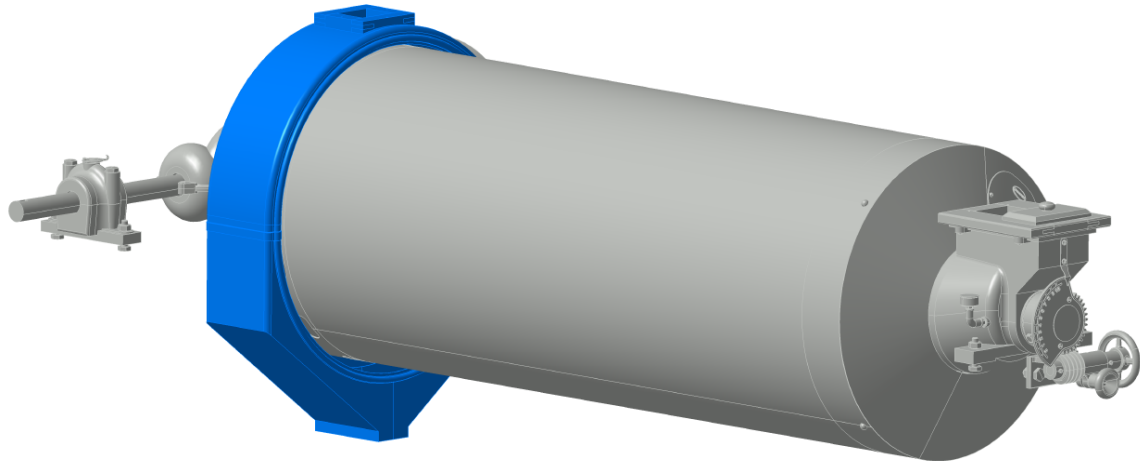


Ilustración 28 – Situación del separador-aspirador.

El separador-aspirador se compone de dos chapas de aproximadamente 1.5mm de espesor a las que se les ha dado la forma que se observa en la Ilustración 29 y que forman su carcasa. Nótese las láminas instaladas en el interior de ambas carcasas. Gracias a estas láminas se consigue separar los flujos de granos seleccionados de los rechazados. La carcasa superior tiene una tapa de registro metálica en su parte trasera y una toma de aspiración en su parte superior fabricada en madera, lo que facilita la fijación del conducto de aspiración mediante atornillado. La carcasa superior tiene practicada además la moldura que se aprecia en el Detalle A sobre todo su contorno inferior y gracias a la cual se monta y fija sobre la carcasa inferior. Ambas carcasas tienen un orificio en su parte trasera para que pase el eje longitudinal de máquina.



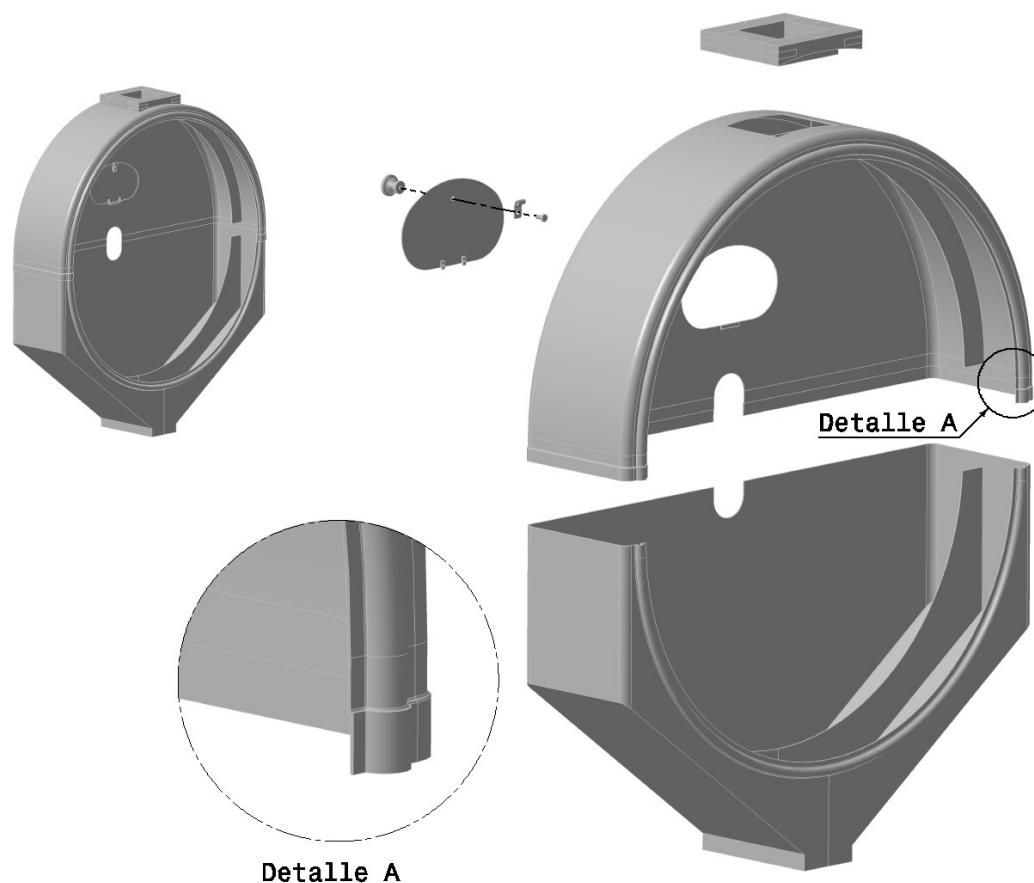


Ilustración 29 – Vista explosionada del separador-aspirador.

En la Ilustración 30 se han representado los flujos de grano seleccionado (verde), grano rechazado (azul) y partículas livianas aspiradas (morado). En este corte puede apreciarse cómo las láminas internas del separador-aspirador actúan de paredes para evitar que los flujos de granos se mezclen al caer hacia afuera del cilindro. Por su parte, la aspiración de polvo y partículas livianas se produce siempre y cuando haya instalada una toma de aspiración. En el caso de la máquina del museo de la Harinera del Guadaíra, sólo el cilindro clasificador superior tenía la toma instalada, aunque los tres cilindros tengan el alojamiento para instalarla.

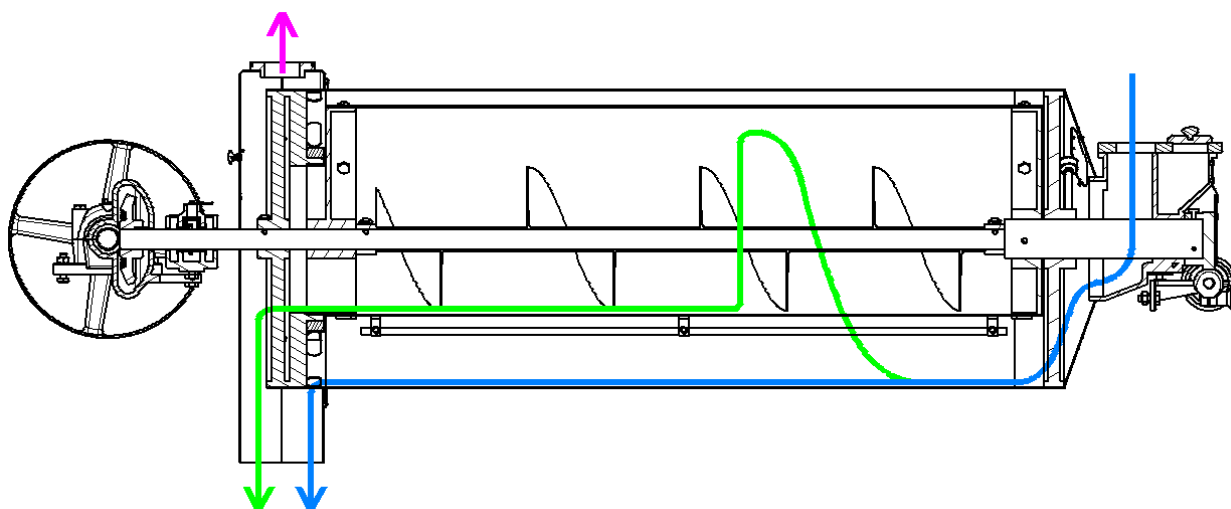


Ilustración 30 – Flujos de granos seleccionados y rechazados y aspiración de partículas livianas.

### 3.4.7 Distribución y aspiración

La distribución del grano se realiza mediante tubos rectangulares de chapa metálica, aunque algunos tramos están realizados en madera. Son los conductos que pueden verse representados en azul en la Ilustración 31. Por su parte, la única toma de aspiración presente en la instalación del triarvejón realizada en la Harinera del Guadaira se encuentra en el cilindro clasificador superior. Es el conducto que puede verse representado en verde en la Ilustración 31.

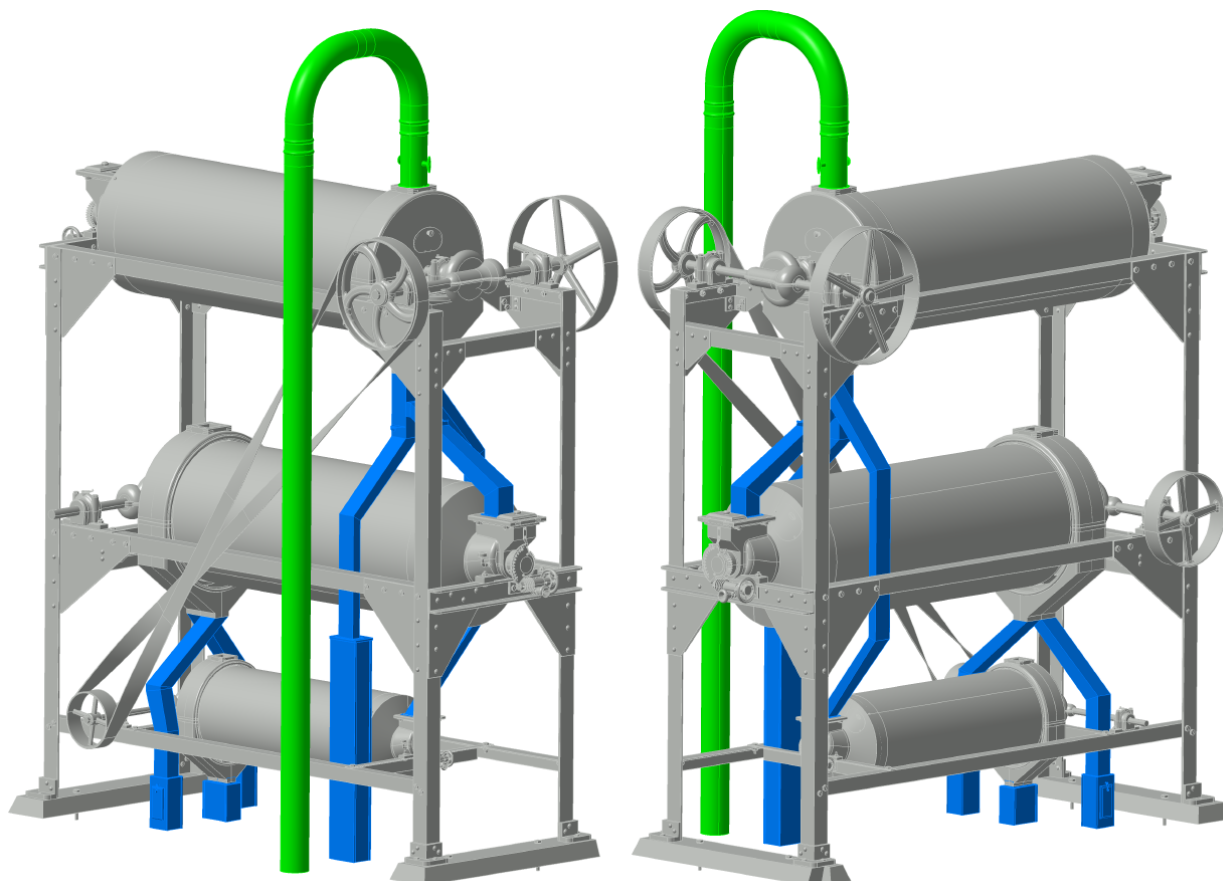


Ilustración 31 – Situación de conductos de distribución de grano y de aspiración de partículas livianas.

De estos conductos cabe destacar los detalles de la Ilustración 32. En dicha ilustración puede verse la válvula de mariposa que posee el último tramo del conducto de aspiración (Detalle A, conducto verde). Con esta válvula puede controlarse el caudal de aire de aspiración en el cilindro superior. También se ha destacado las molduras, o abocardados, practicadas en los empalmes de los tramos que forman dicho conducto (Detalle B, conducto verde). Por su parte, en los conductos de distribución rectangulares destacan las trampillas con las que se controla la distribución del cilindro superior al intermedio (Detalle C, conducto azul) y las puertas de registro en los tramos de madera (Detalle D, conducto azul). Con las dos trampillas del Detalle C se controla que el flujo de rechazo del cilindro superior pase al cilindro intermedio o salga definitivamente de la máquina, abriendo una y cerrando la otra alternativamente. Mediante las tapas de registro como las del Detalle D puede tanto controlarse que no se producen atascos como tomar muestras que permitan calibrar la máquina para obtener siempre el producto deseado.

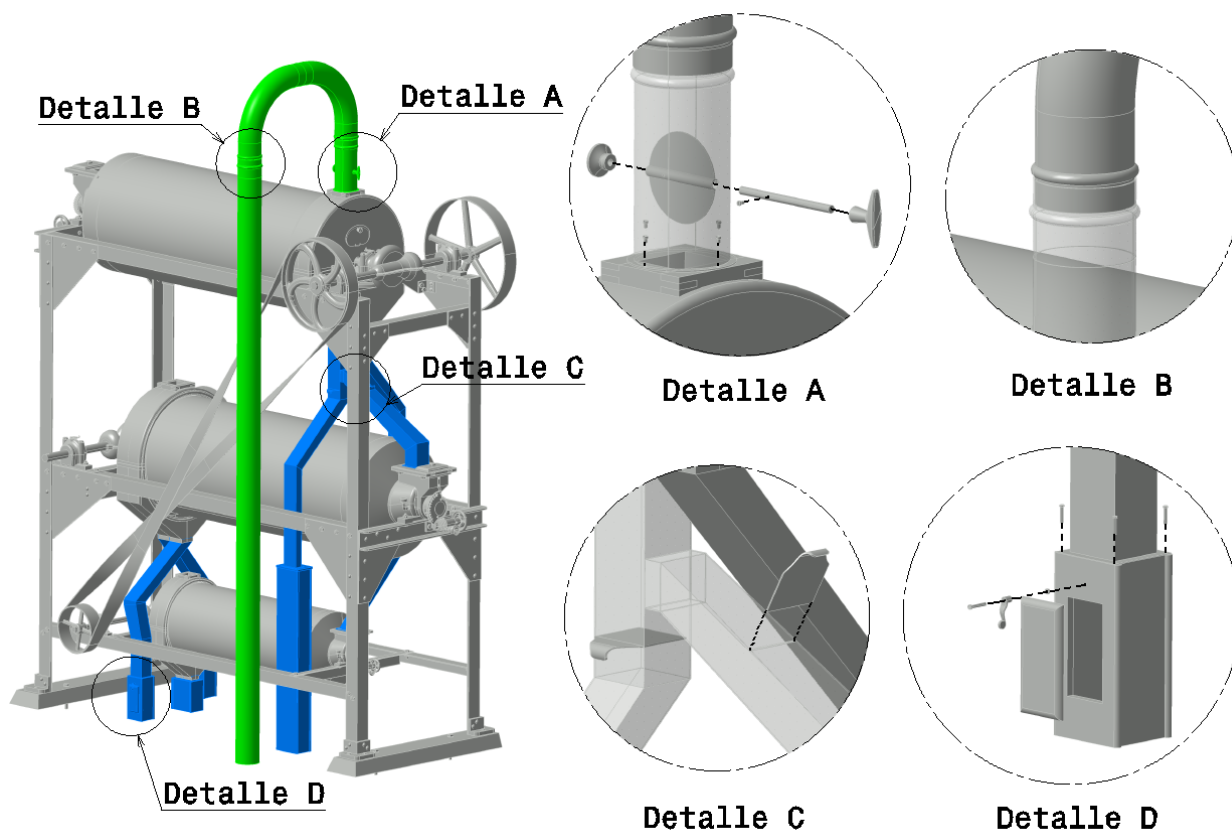


Ilustración 32 – Detalles de los conductos de distribución de granos y aspiración de partículas livianas.

### 3.4.8 Transmisión mecánica

En esta sección se han agrupado las poleas y correas que transmiten el movimiento desde un elemento motriz exterior hasta cada cilindro clasificador, así como los mecanismos internos de cada cilindro clasificador que permiten el giro de los cilindros. En la Ilustración 33 puede verse la situación de estos elementos en el triarvejón: en azul las poleas, ejes transversal y longitudinal de cada cilindro y los engranajes cónicos de dientes rectos; en verde los cojinetes que permiten el giro de los ejes transversal y longitudinal de cada cilindro; en morado la correa cruzada que transmite el movimiento desde la polea del eje transversal del cilindro superior a la polea del eje transversal del cilindro inferior.

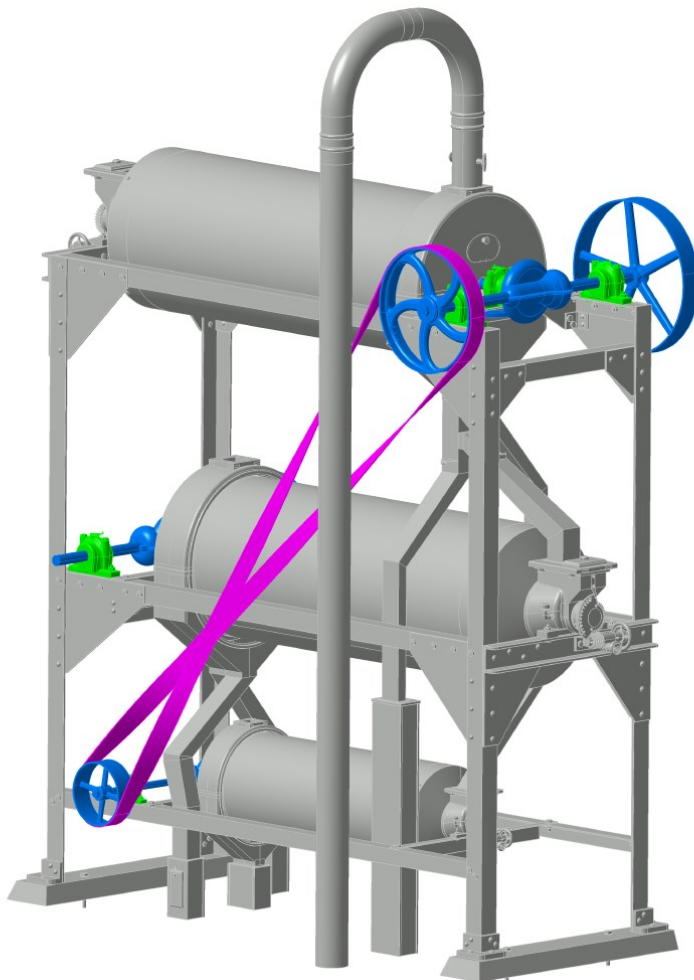


Ilustración 33 – Situación de los componentes de la transmisión mecánica.

En la Ilustración 34 se han indicado los sentidos de giro de cada una de las partes que forman la transmisión mecánica de la máquina. Para mayor claridad, se han ocultado los cilindros y se ha dado cierta transparencia a la estructura principal y a las tolvas de alimentación y reguladores de inclinación sobre los que apoyan los ejes longitudinales de cada cilindro. Las poleas más al fondo de los cilindros superior e intermedio en esta ilustración son las que reciben el movimiento desde la fuente de potencia motriz. En el caso del cilindro superior, incorpora otra polea en el eje transversal que sirve para transmitir el movimiento a la polea del eje transversal del cilindro inferior mediante una correa cruzada, con lo que puede decirse que el cilindro inferior es esclavo del cilindro superior. Los ejes transversales transmiten su movimiento a los ejes longitudinales gracias a los engranajes cónicos de dientes rectos. Finalmente, todos los ejes longitudinales giran en el sentido correcto para realizar la clasificación de los granos.

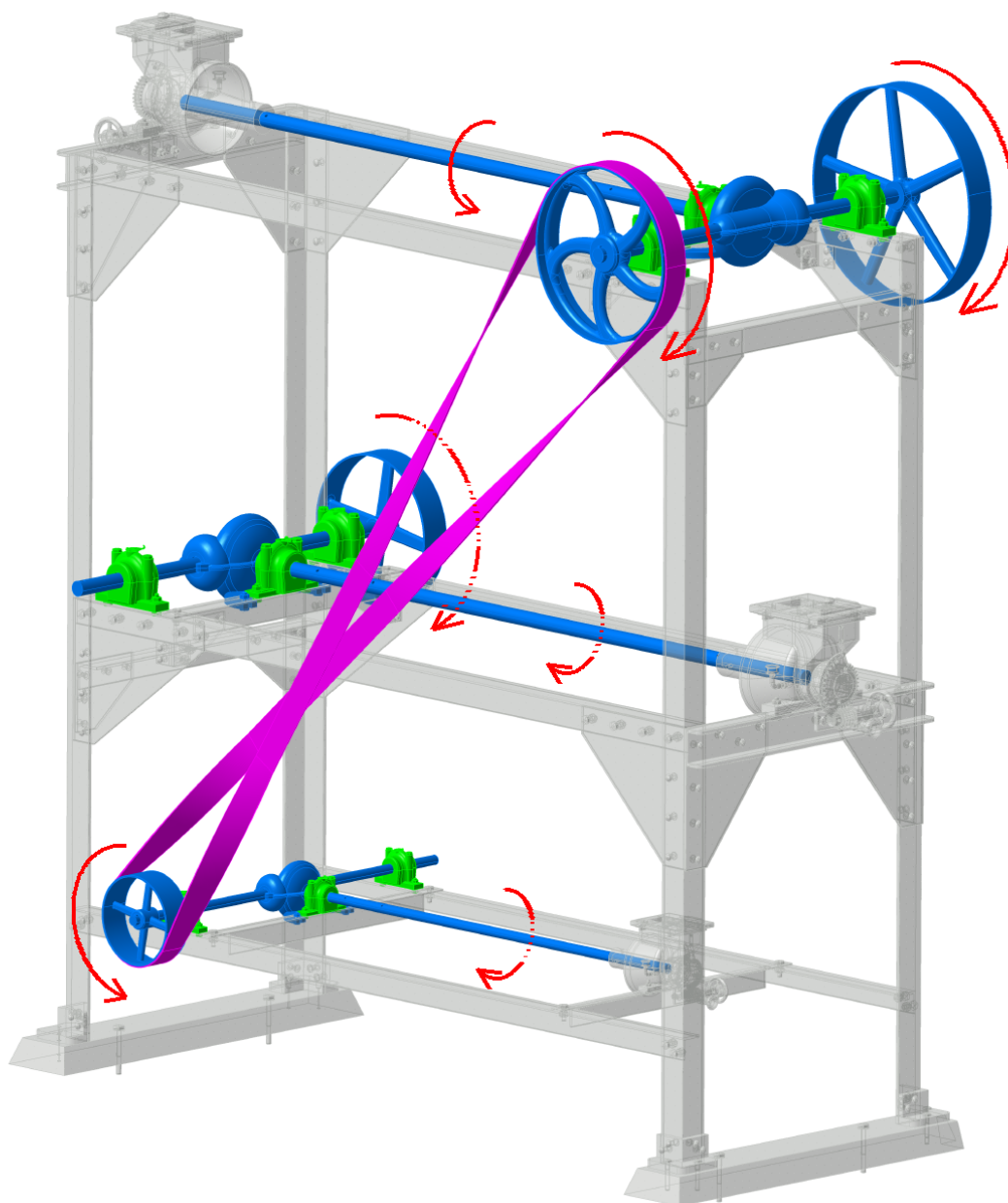


Ilustración 34 – Sentidos de giro de los componentes de la transmisión mecánica.

A continuación van a presentarse más en detalle el engranaje cónico de dientes rectos y los cojinetes, ya que las poleas se componen simplemente de llanta, radios y cubo con chavetero —lo cual no tiene demasiado interés— y la correa cruzada de cuero va a presentarse en mayor profundidad en la Sección 4.



En la Ilustración 35 se presenta una vista explosionada del engranaje cónico, el cual transmite el giro desde el eje transversal al eje longitudinal del cilindro clasificador. Incorpora una carcasa superior y otra inferior que evitan que entren impurezas al engranaje, lo que podría provocar un desgaste prematuro, además de proteger frente a atrapamientos entre los dientes del engranaje al manipular la máquina. Nótese el herraje de la carcasa inferior, el cual sirve de punto de anclaje del engranaje a la estructura principal de la máquina mediante dos pernos.

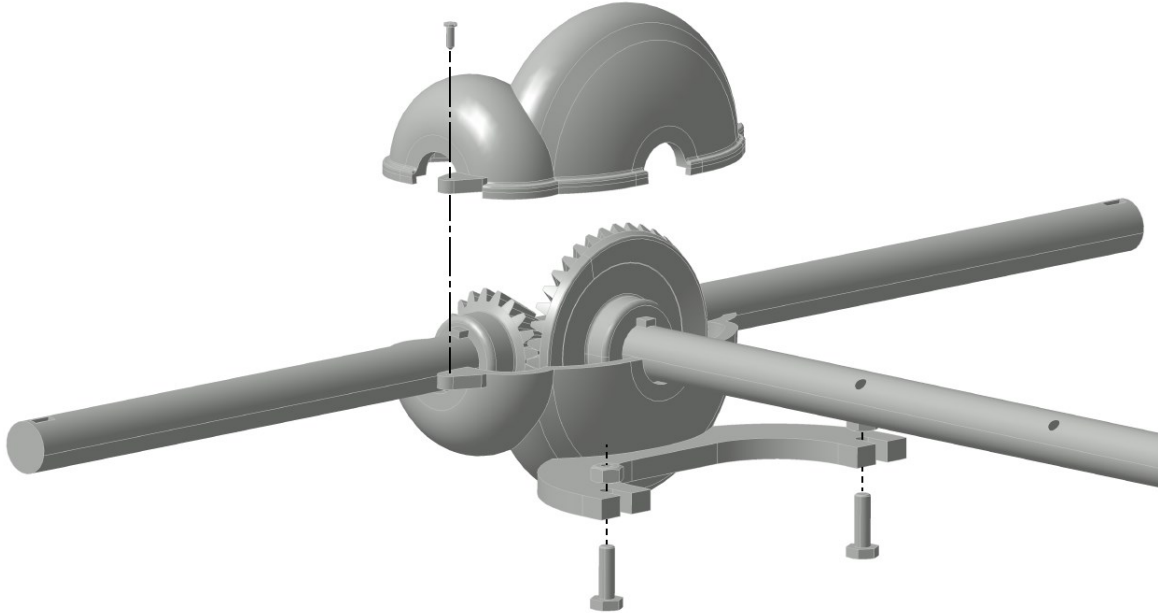


Ilustración 35 – Vista explosionada de la carcasa del engranaje cónico.

Los ejes son barras de acero de 40mm de diámetro, las carcasas están fabricadas en hierro fundido y los conos del engranaje son de acero mecanizado. En la Ilustración 36 se tiene una perspectiva de la corona cónica y el piñón cónico, ambos con un corte donde puede observarse con más detalle el tipo de perfil de cada pieza, sus chaveteros y sus chavetas. El piñón (conductor) tiene 20 dientes, mientras que la corona (conducido) tiene 40 dientes. Esto quiere decir que el engranaje cónico tiene una relación de reducción de 1:2.

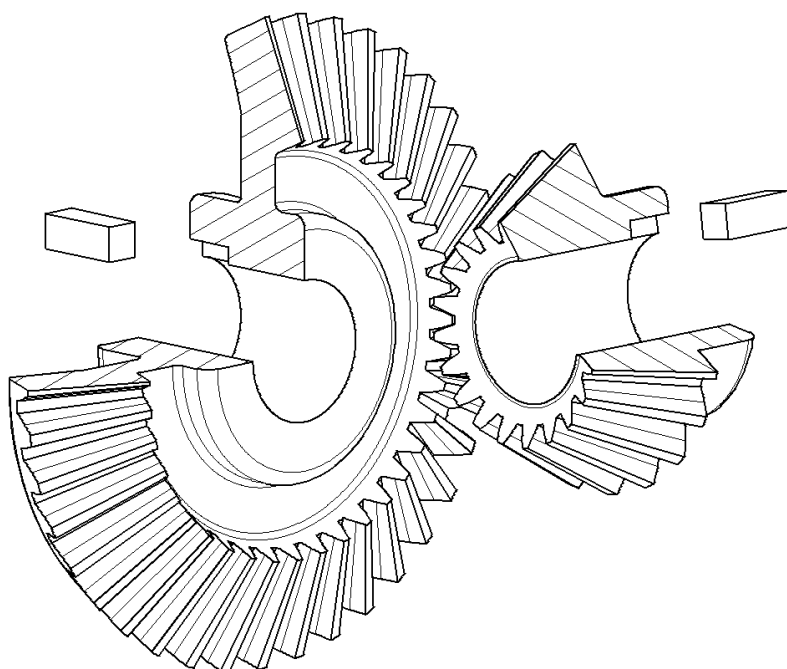


Ilustración 36 – Detalle de la corona y piñón del engranaje cónico.

En la Ilustración 37 se ha representado una perspectiva de un cojinete ensamblado y otra vista explosionada del mismo. Se trata de un cojinete de tipo *Seller* de acuerdo a [2, p. 210]. Se trata de un diseño poco frecuente hoy día, aunque en la época de la maquinaria de la Harinera del Guadaira debía ser de uso extendido, ya que una parte importante de los cojinetes de la maquinaria allí presente son de este tipo. El cojinete en cuestión posee una carcasa dividida en dos mitades. La carcasa superior tiene un orificio con una pequeña tapa para poder agregar el lubricante. Además, tiene dos taladros pasantes en los que se insertan dos tornillos que la fijan a la parte inferior de la carcasa. Por su parte, la parte inferior de la carcasa tiene los herrajes para el anclaje a la estructura principal del triarvejón, cosa que se hace mediante los dos pernos que aparecen también en la ilustración. En cuanto a los elementos de su interior, pueden diferenciarse tres piezas. Las dos más grandes forman el buje sobre el que asienta el eje. Ambas piezas están fabricadas en bronce. La tercera, con forma de anillo, se trata de un aro que gira loco sobre el eje y que se entiende servía para lubricar la unión buje-eje empapándose de aceite del cárter formado por la cavidad interior de la carcasa inferior del cojinete y arrastrándolo hacia arriba en su giro.

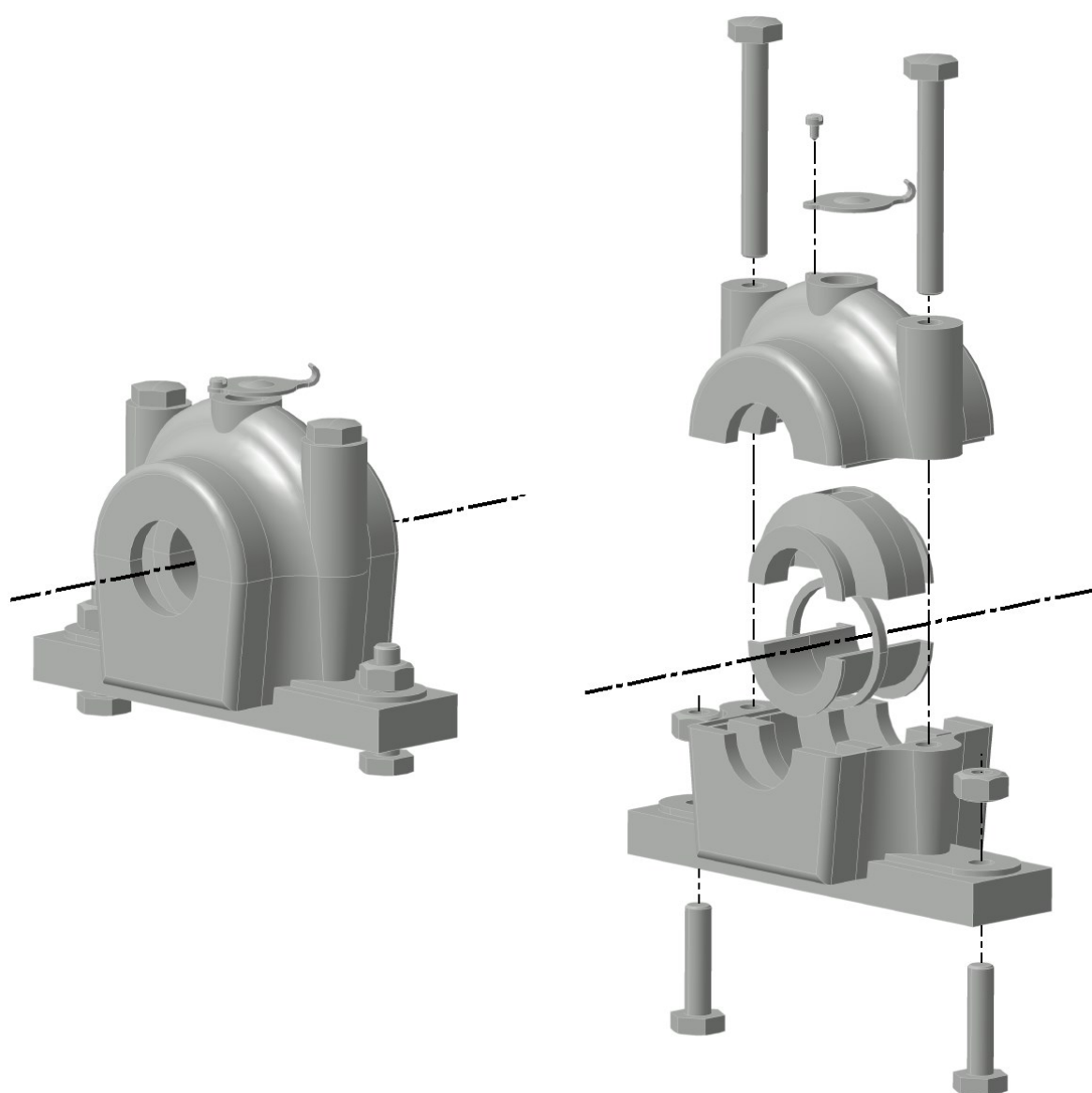


Ilustración 37 – Vista explosionada de un cojinete.

### 3.4.9 Lubricación y tapas de acceso

Además del engrase de los cojinetes, que se realiza a través del orificio de la parte superior de sus carcasas, hay más elementos móviles en la máquina que necesitan de lubricación. En estos puntos donde la lubricación también es necesaria se dispone de aceiteras por gravedad. Se han contabilizado tres por cada cilindro clasificador. A dos de ellas se accede a través de tapas de registro dispuestas para ello. Éste es el caso de las aceiteras de la Vista B y C de la Ilustración 38. Por su parte, la tercera aceitera es fácilmente accesible desde el exterior sin necesidad de desmontajes o aperturas de registros, como puede verse en la Vista A de la Ilustración 38.

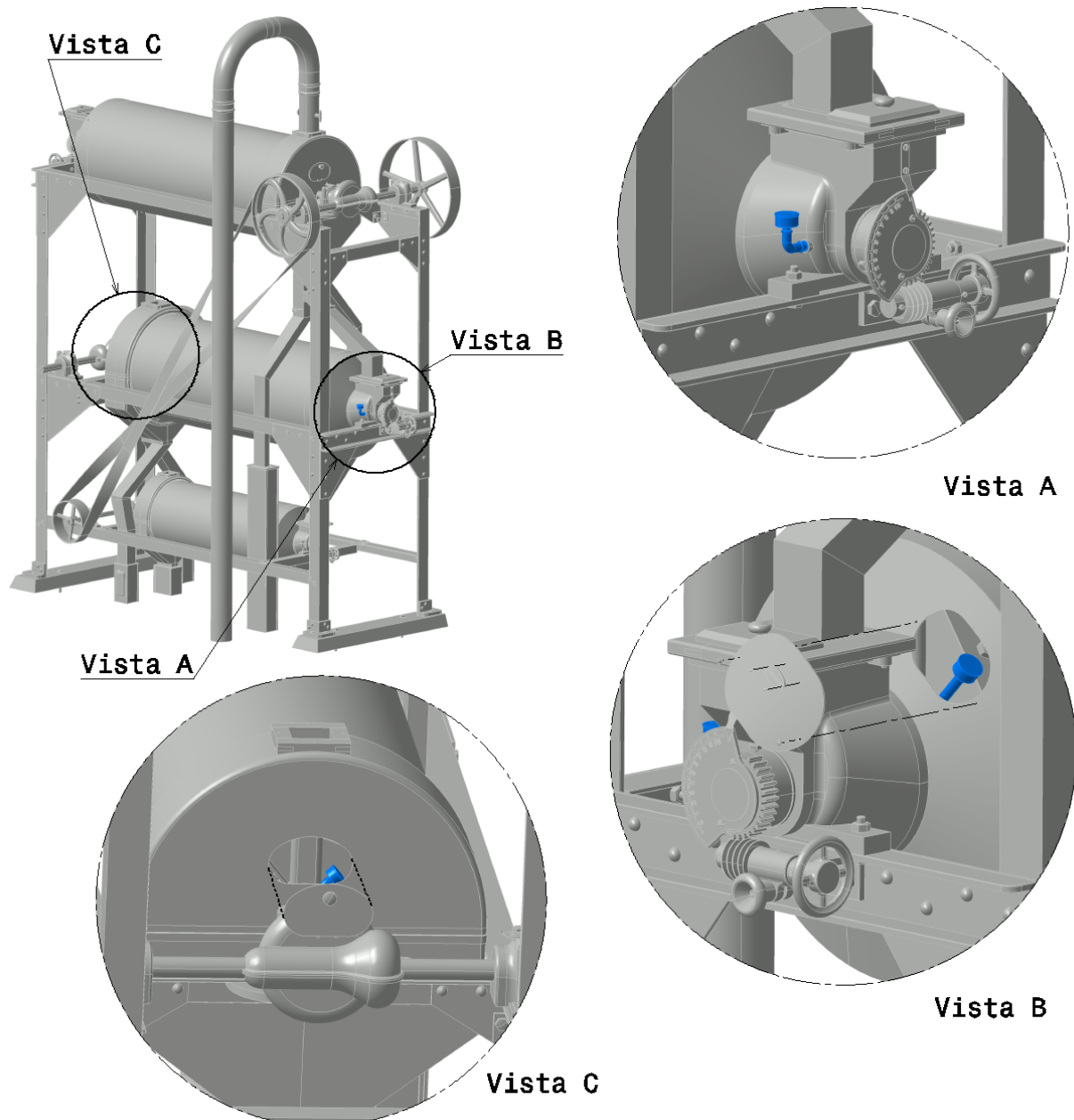


Ilustración 38 – Situación de las aceiteras o lubricadores por gravedad y sus tapas de acceso.

El diseño de estas aceiteras es bien sencillo. En la Ilustración 39 el lector encontrará una vista explosionada de las partes que componen una de estas aceiteras y un corte de la misma ensamblada. Se compone de una cazoleta donde se vierte el lubricante, una tapa roscada para evitar la entrada de impurezas o el escape de lubricante, un inserto que se atornilla a la máquina, un tubo roscado de pequeño diámetro y los racores de unión.

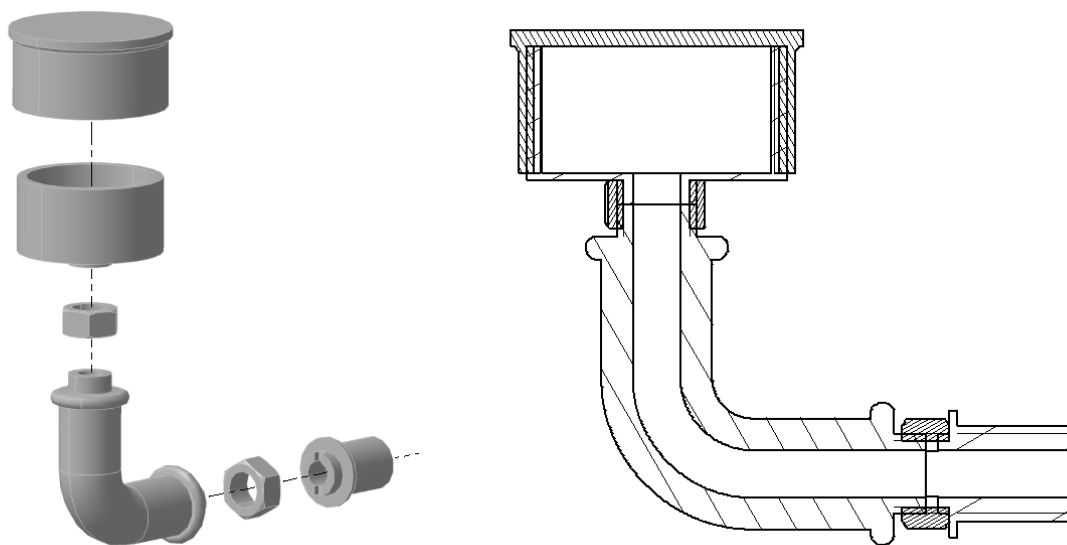


Ilustración 39 – Vista explosionada y corte de una aceitera o lubricador por gravedad.

En cuanto a las tapas, en la Ilustración 40 se tiene una perspectiva de la tapa de registro que va atornillada a la chapa alveolada (Vista B, Ilustración 38). Se trata de un trozo de chapa de unos 2mm de espesor a la que se le ha dado esa forma cónica para que se adapte al lateral cónico de la chapa alveolada. Incorpora además una pequeña etiqueta de latón en la que puede leerse “Engrasador” y que va unida por dos pequeños remaches.

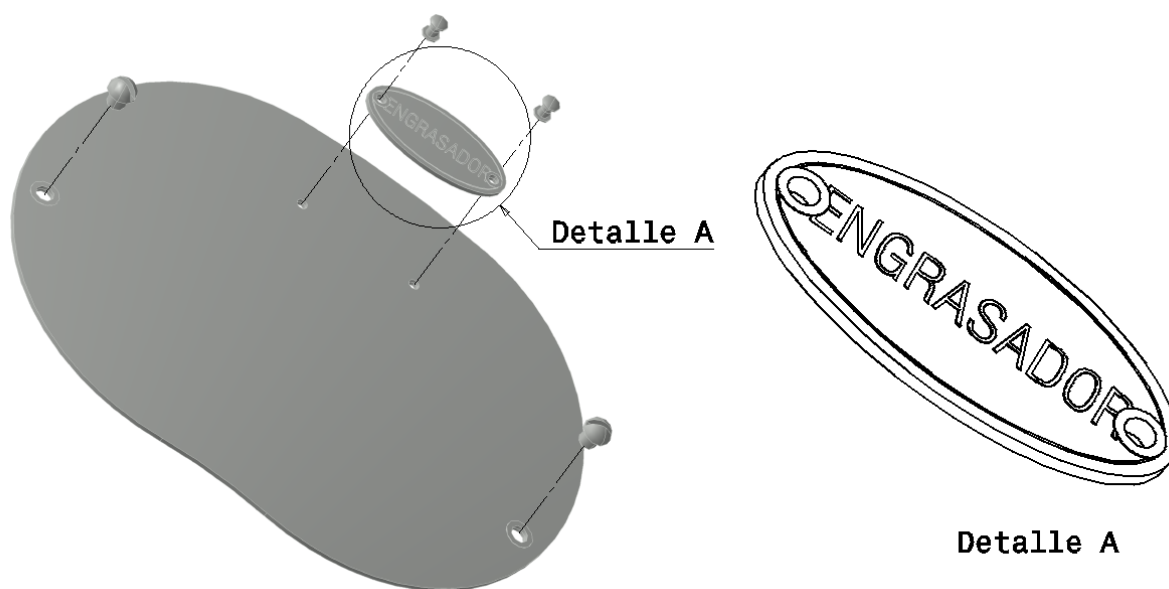


Ilustración 40 – Tapa de registro de la chapa alveolada y detalle de la etiqueta.

En la Ilustración 41 se tiene una perspectiva de la segunda tapa de registro, la cual se ajusta mediante presión al separador-aspirador (Vista C, Ilustración 38). El ajuste es posible por las dos pestañas inferiores y la lámina doblada en forma de resorte instalada en el lado opuesto al pomo.

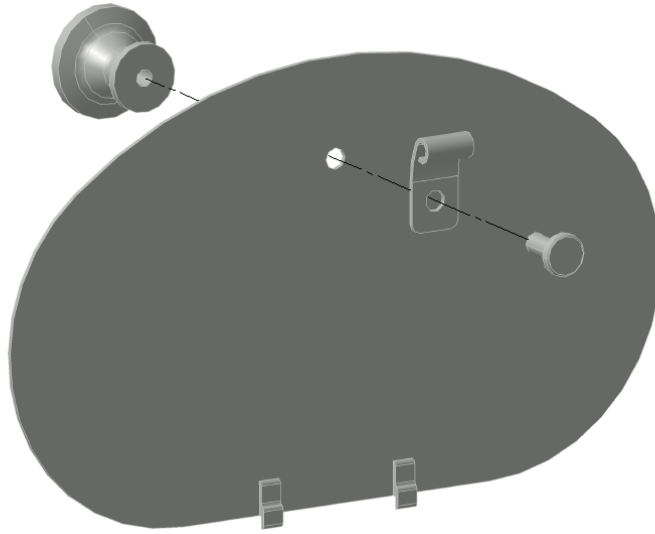


Ilustración 41 – Tapa de registro del separador-aspirador.



### 3.4.10 Estructura

La estructura principal de la máquina está compuesta por perfiles de acero unidos mediante pernos o remaches. En la base, las cuatro patas asientan sobre dos bloques de madera gruesa que actúa como amortiguadores de la máquina, que reducen en lo posible las vibraciones que la máquina transmite a la estructura del molino. Allí donde es necesario, se han dispuesto escuadras fabricadas a partir de plancha de acero con el objetivo de reforzar las uniones entre perfiles. Esto puede verse en la Ilustración 42, donde se ha representado la estructura en azul, mientras que al resto de elementos de la máquina se le ha dado cierta transparencia para que el lector pueda observar con más claridad todas las partes de que se compone la estructura.

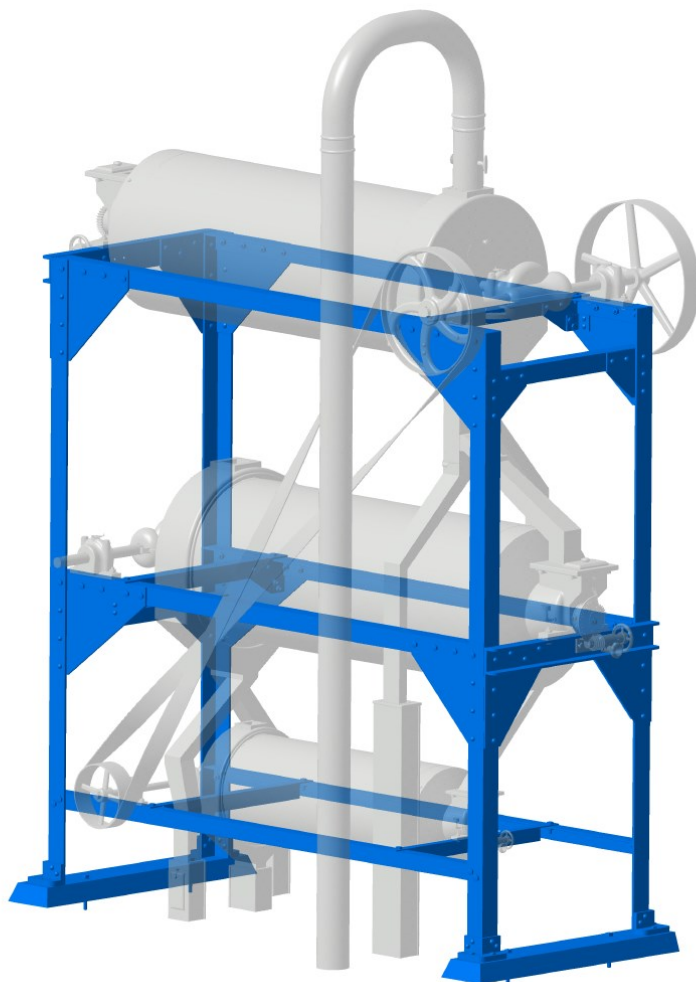


Ilustración 42 – Estructura de la máquina.

La disposición de las uniones remachadas o realizadas mediante pernos no está realizada al azar, sino todo lo contrario, sigue un patrón. Las uniones remachadas, al ser el remachado un proceso más complejo y que necesita de aporte de calor, debieron realizarse en el establecimiento de la empresa que fabricó la máquina. Los subconjuntos ensamblados mediante remaches se trasladarían desmontados, para mayor comodidad durante el transporte. Finalmente, una vez en el destino final elegido para la máquina, los subconjuntos unidos internamente mediante remaches se unirían mediante pernos. Se consigue así una estructura modular, fácil de desmontar y transportar y muy robusta. En la Ilustración 43 puede verse una vista explosionada de la estructura por sus uniones realizadas mediante pernos con tuercas. Por su parte, los elementos unidos mediante remaches se han presentado unidos, para que el lector pueda apreciar con claridad qué uniones son de un tipo u otro.

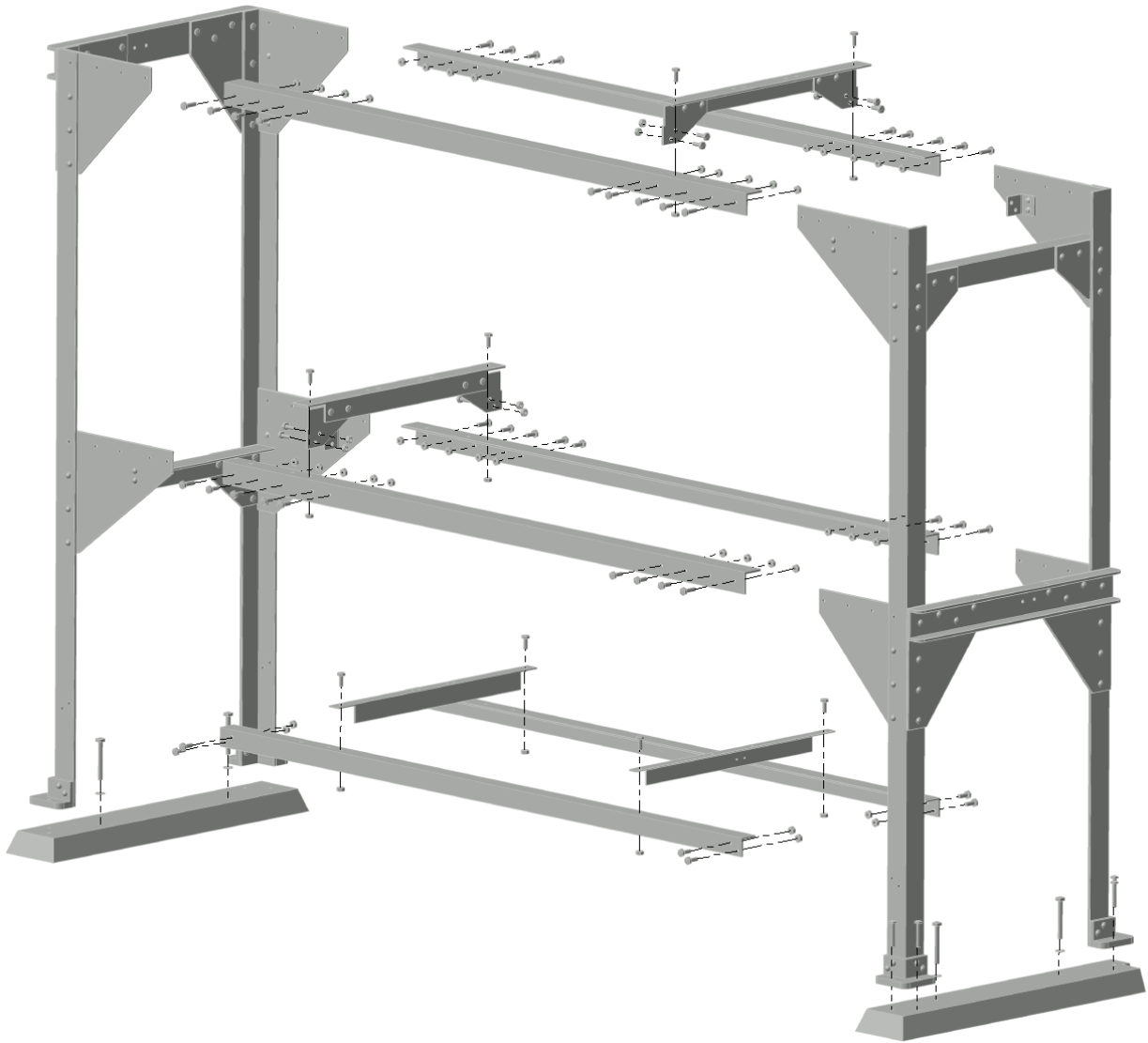


Ilustración 43 – Vista explosionada diferenciando uniones con pernos y remachadas.



## 4 MODELADO 3D EN CATIA V5

---

Aunque en la Sección 3 se ha presentado una gran cantidad de ilustraciones obtenidas mediante CATIA V5, no se ha comentado nada acerca de los módulos de CATIA V5 empleados para obtener el modelado 3D, de los modelados que pudieran resultar más interesante ni tampoco nada acerca de las limitaciones o dificultades encontradas durante el proceso de modelado y la solución aportada en cada caso. En esta sección va a intentarse arrojar un poco de luz a todas estas cuestiones.

### 4.1 Módulos de CATIA V5 empleados

Para el modelado 3D del triarvejón, o máquina clasificadora de granos, se han empleado principalmente los siguientes módulos de CATIA V5:

- Mechanical Design:
  - Part Design
  - Assembly Design
  - Drafting
- Shape:
  - Generative Shape Design
  - Sketch tracer

### 4.2 Detalles de los modelados más interesantes o problemáticos

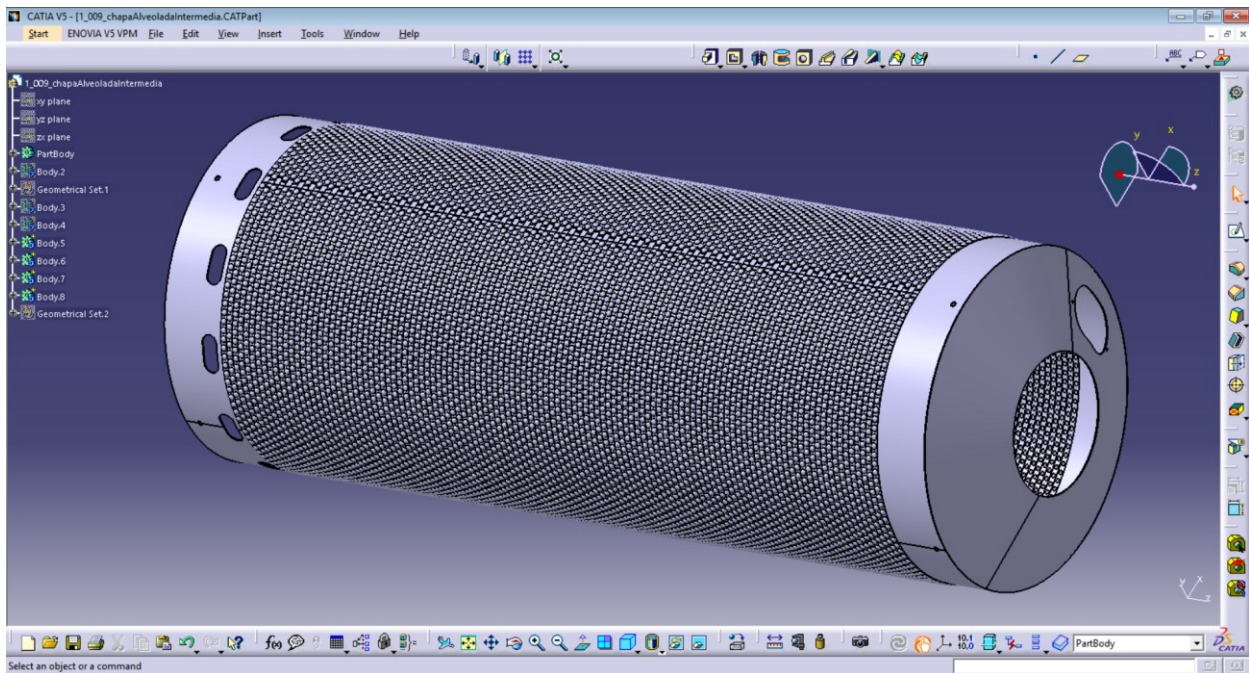
Entre los modelados que pueden resultar más interesantes, destacan los que se presentan a continuación.

#### 4.2.1 Chapa alveolada

La chapa alveolada ha sido el elemento que más problemas ha planteado a la hora de modelarlo en CATIA V5. Su principal problema no ha sido la geometría, sino el volumen de memoria ocupada. Por dicho motivo, ha habido que hacer dos modelados de cada chapa alveolada. El primero, con alveolos, para representaciones como elemento individual. El segundo, simplificado sin alveolos, completamente liso, para representaciones de conjunto.

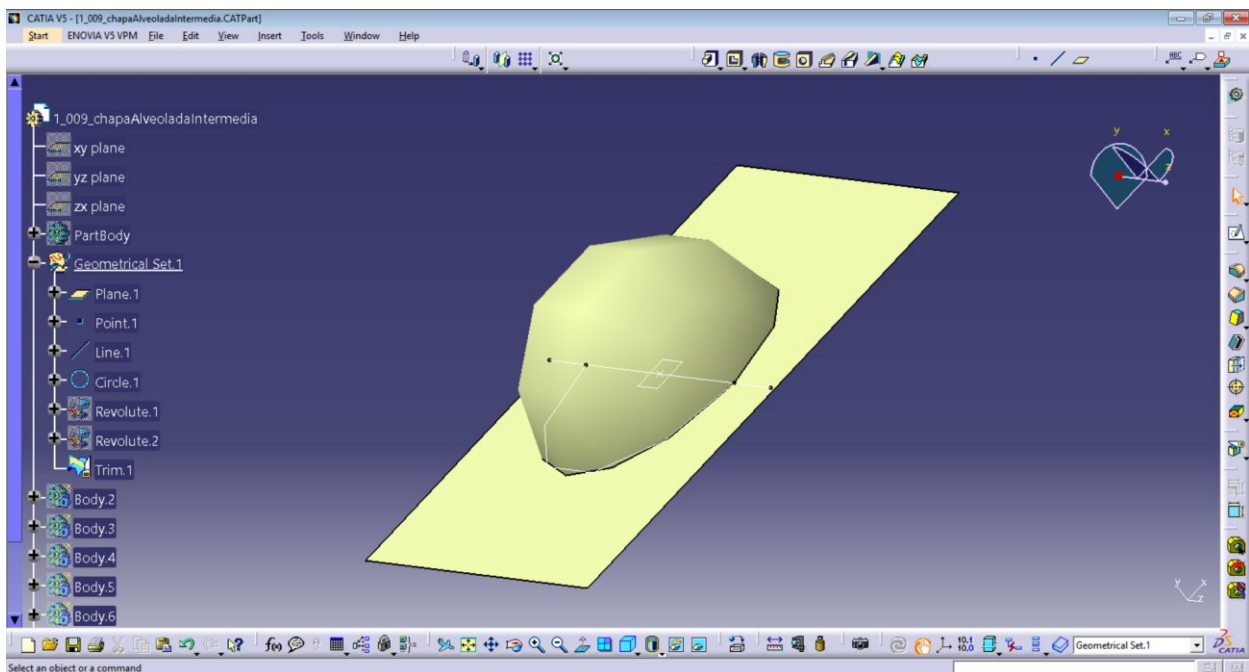
Cuando se empleaba la maqueta no simplificada de la chapa alveolada, los problemas se presentaban esencialmente en dos momentos. Uno era a la hora de manipular la maqueta de la máquina ensamblada, ya que el programa se ralentizaba e incluso podía llegar a cerrarse abruptamente. El otro momento ocurría a la hora *renderizar* una imagen de la máquina ensamblada o al extraer de ella una representación con el módulo de *Drafting*, ya fuera mediante la propiedad *Exact view* o *Raster*. Después de un tiempo de ejecución, el programa se bloqueaba, mostraba una ventana con el texto “*Clic OK to terminate*” y se cerraba.

La construcción de la chapa alveolada más próxima a la realidad y ocupando el menor espacio posible que se ha encontrado es la que se detalla a continuación.



Captura 1 – Chapa alveolada no simplificada con *Render Style* de *Shading with Edges*.

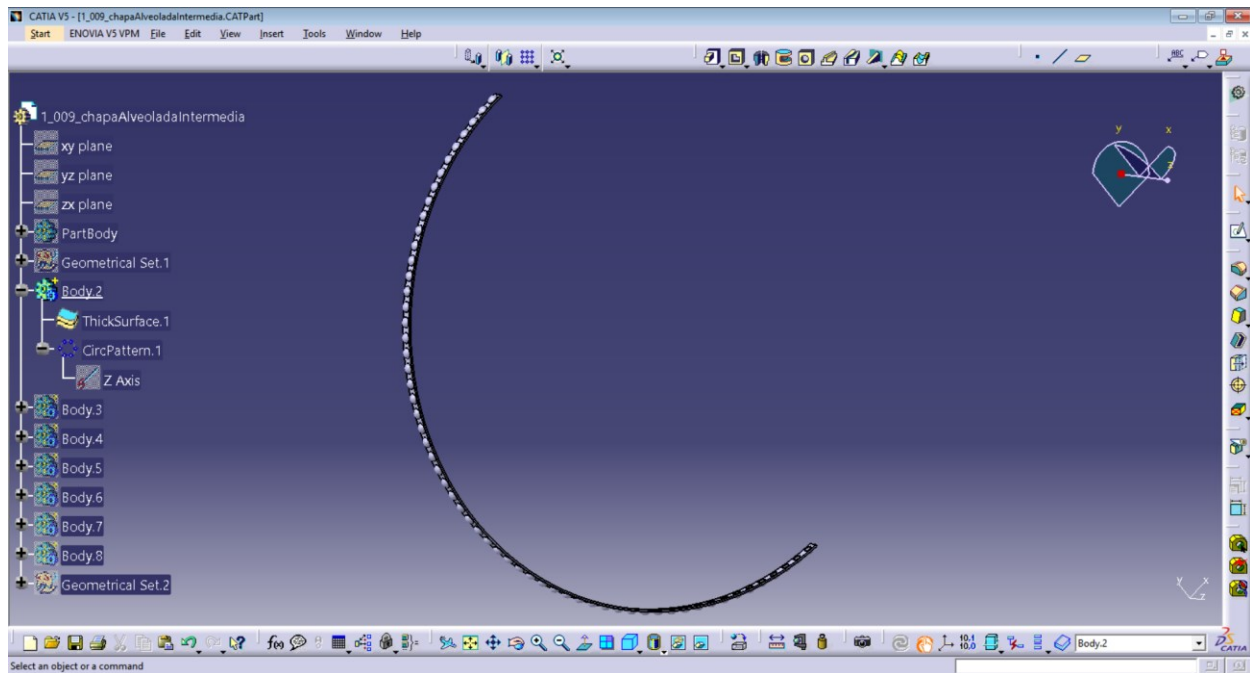
Primero que todo, se observa que la chapa alveolada está compuesta por alveolos dispuestos al tresbolillo, por lo que se comienza generando un alveolo que luego se replicará de manera que siga ese patrón. Así, como puede verse en la Captura 2, se genera la superficie interior del alveolo en el *Geometrical Set 1*. El *Geometrical Set 2* son sólo planos auxiliares para generar el *Geometrical Set 1*.



Captura 2 – Superficie interior de un alveolo.

En el *Body 2*, a la superficie del *Geometrical Set 1* se le aplica un espesor. El sólido así generado es replicado empleando un patrón circular, como puede verse en la Captura 3. Con objeto de representar las franjas sin alveolos que sirven de costuras para la soldadura de las dos mitades que componen el cilindro, no se replican alveolos hasta cubrir  $180^\circ$ , sino que se deja el arco que ocupa un alveolo sin completar.

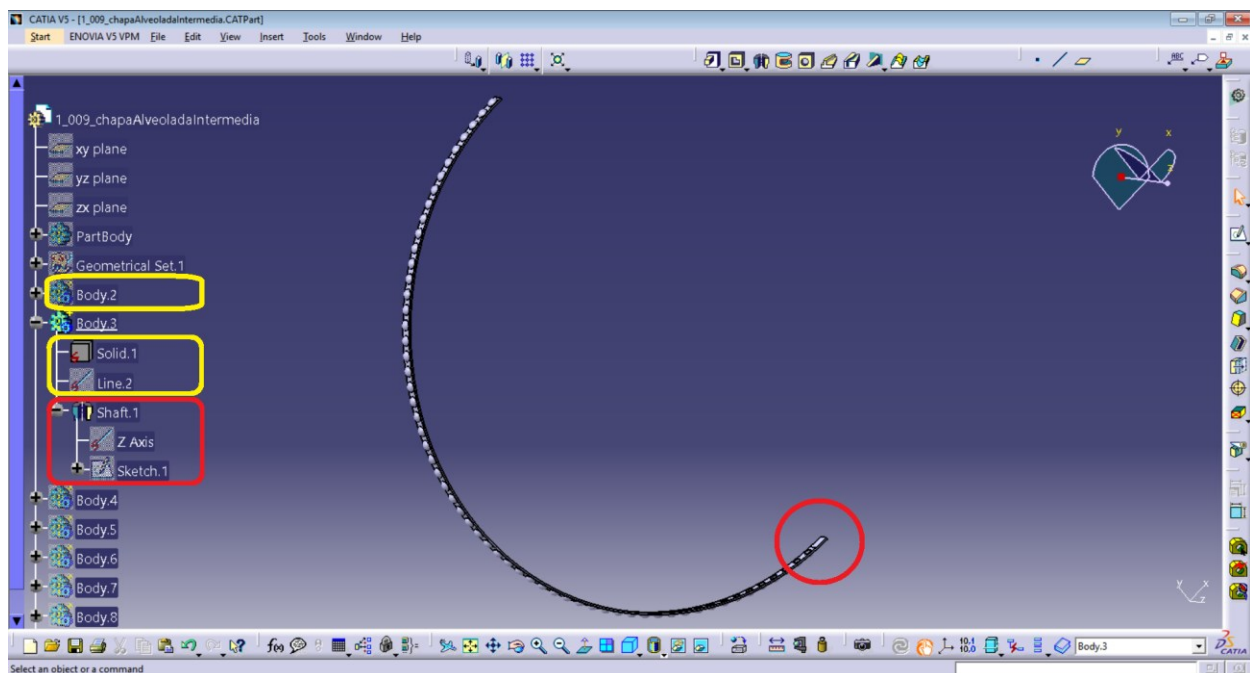




Captura 3 – Aplicación de espesor a la superficie y patrón circular.

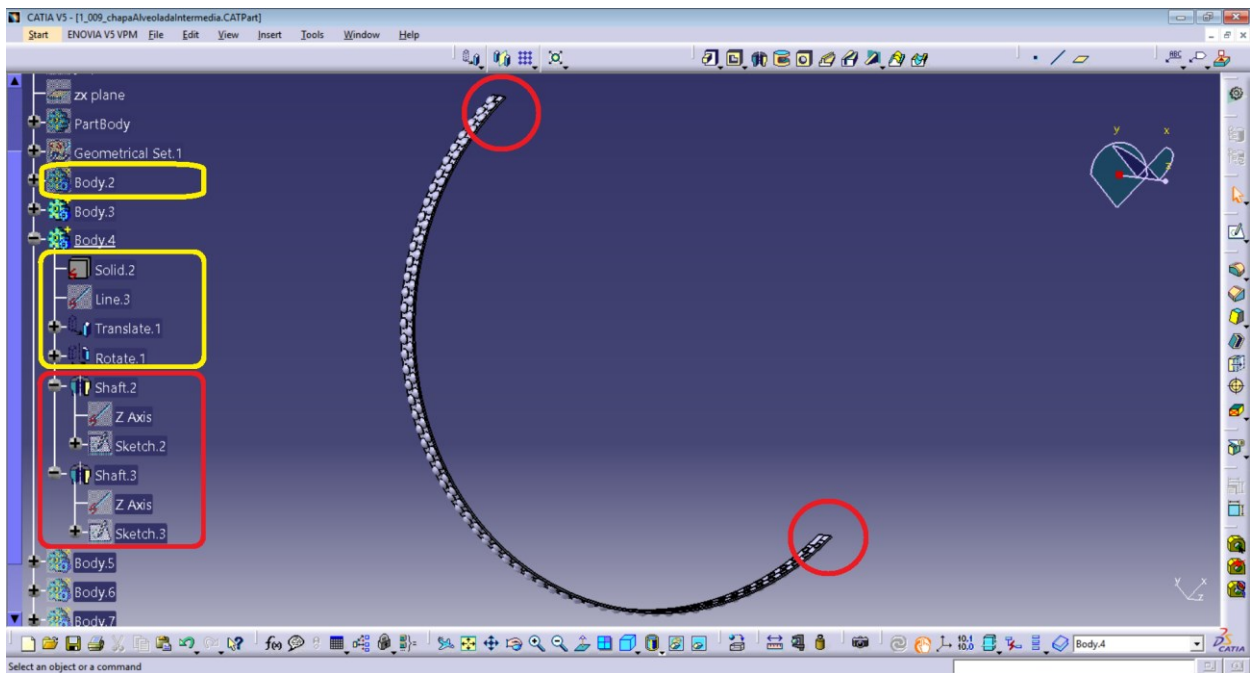
En el *Body 3* se realiza un *Paste Special > As Result* del *Body 2*, con lo que sólo se copia el sólido final, no los elementos auxiliares con los que se ha generado el *Body 2* (resaltado en amarillo en la Captura 4). La ventaja de copiar y pegar los sólidos sin los elementos auxiliares necesarios para su construcción reside en que al final se obtendrá un *CATPart* mucho más ligero. Gracias a esta característica se han podido modelar las chapas alveoladas ocupando un volumen de memoria razonable, que podía ser ejecutado en el ordenador empleado para la realización de este Trabajo Fin de Grado.

Se completa este *Body 3* con un tramo liso el trozo que falta hasta 180°, que en este caso es de arco igual a un alveolo (resaltado en rojo en la Captura 4).



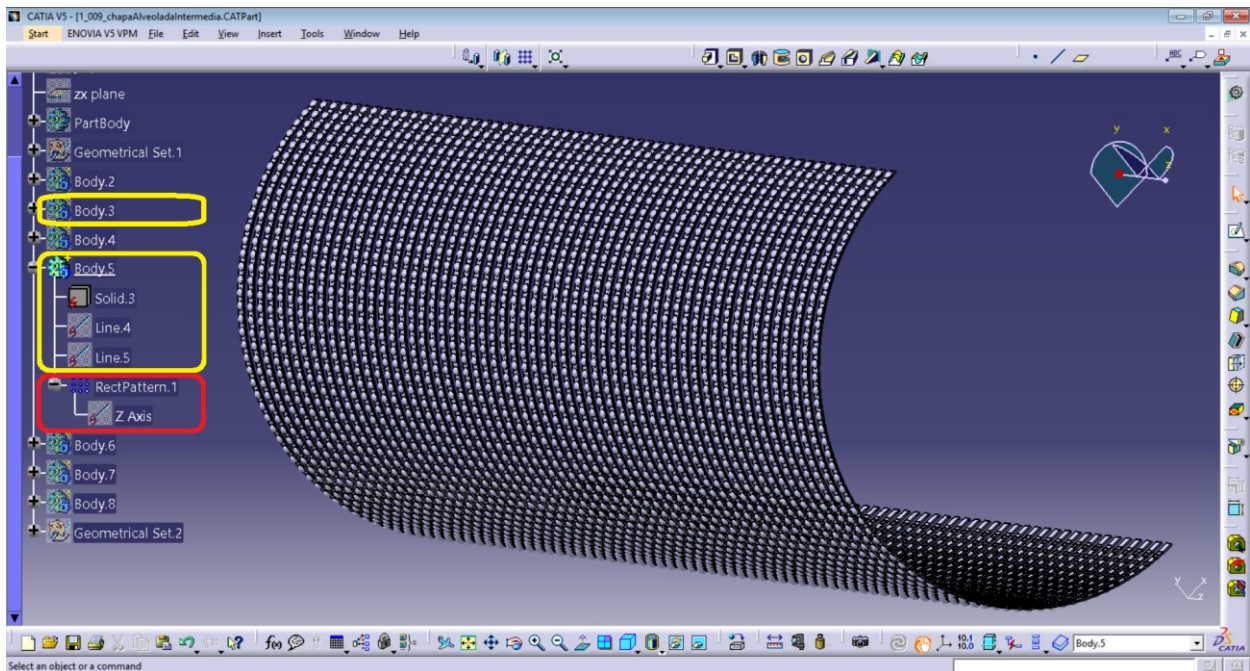
Captura 4 – Pegado especial del *Body 2* y extensión lisa de arco igual a un alveolo.

En el Body 4 se realiza otro Paste Special > As Result del Body 2. Además se le aplica una traslación igual al ancho de un alveolo y una rotación igual al ángulo que representa medio arco de alveolo (resaltado en amarillo en la Captura 5). Se completa este Body 5 con dos tramos lisos hasta completar 180°, que en este caso son tramos de arco igual a medio alveolo cada uno (resaltado en rojo en la Captura 5).



Captura 5 – Pegado especial, traslación y rotación de *Body 2* y extensiones lisas en los extremos.

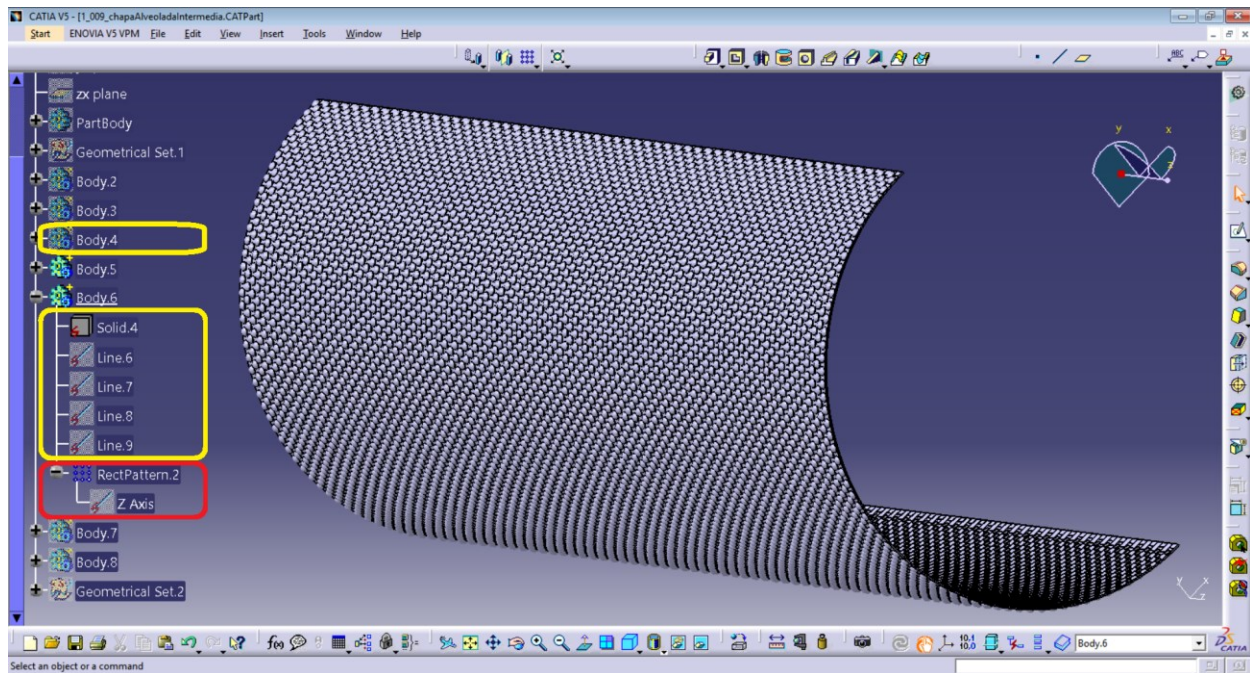
En el *Body 5* se hace un *Paste Special > As Result* del *Body 3* (resaltado en amarillo en la Captura 6). A continuación se aplica un patrón lineal dejando un hueco igual al ancho de un alveolo entre cada réplica (resaltado en rojo en la Captura 6).



Captura 6 – Pegado especial del *Body 3* y aplicación de patrón lineal.

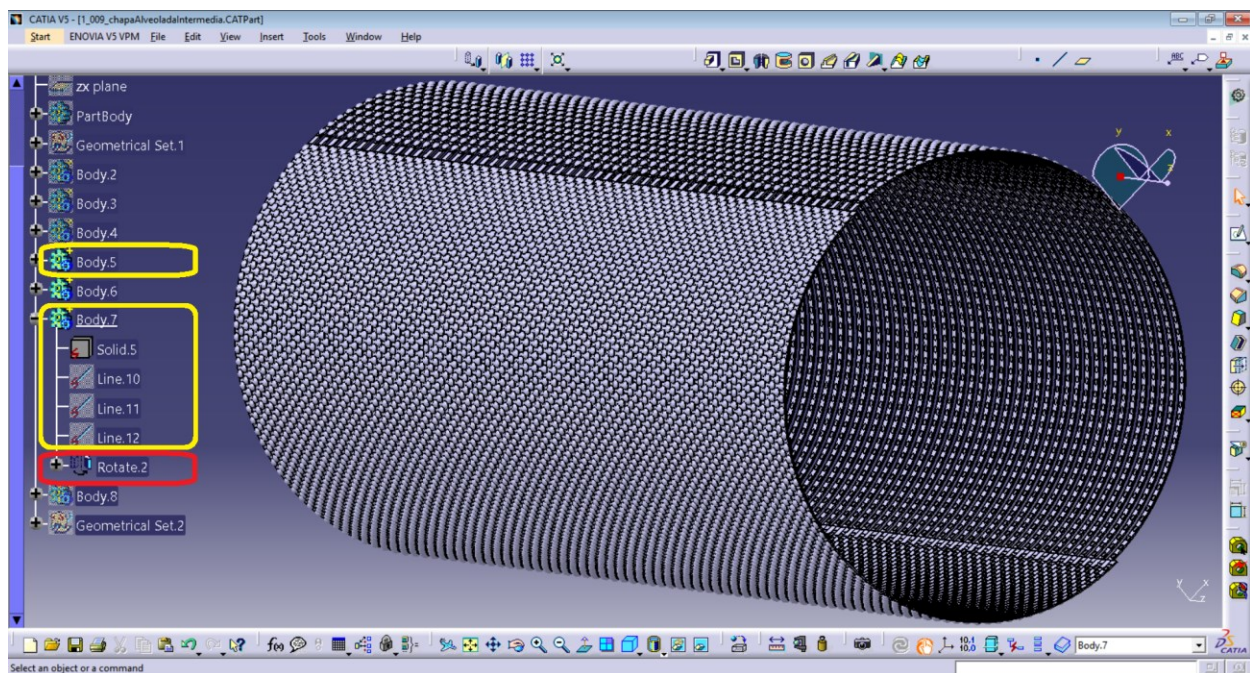
En el *Body 6* se hace lo mismo que antes, pero con el *Body 4* en lugar del *Body 3*. Se obtiene así media chapa alveolada con los alveolos dispuestos al tresbolillo (ver Captura 7).





Captura 7 – Pegado especial del *Body 4* y aplicación de patrón lineal.

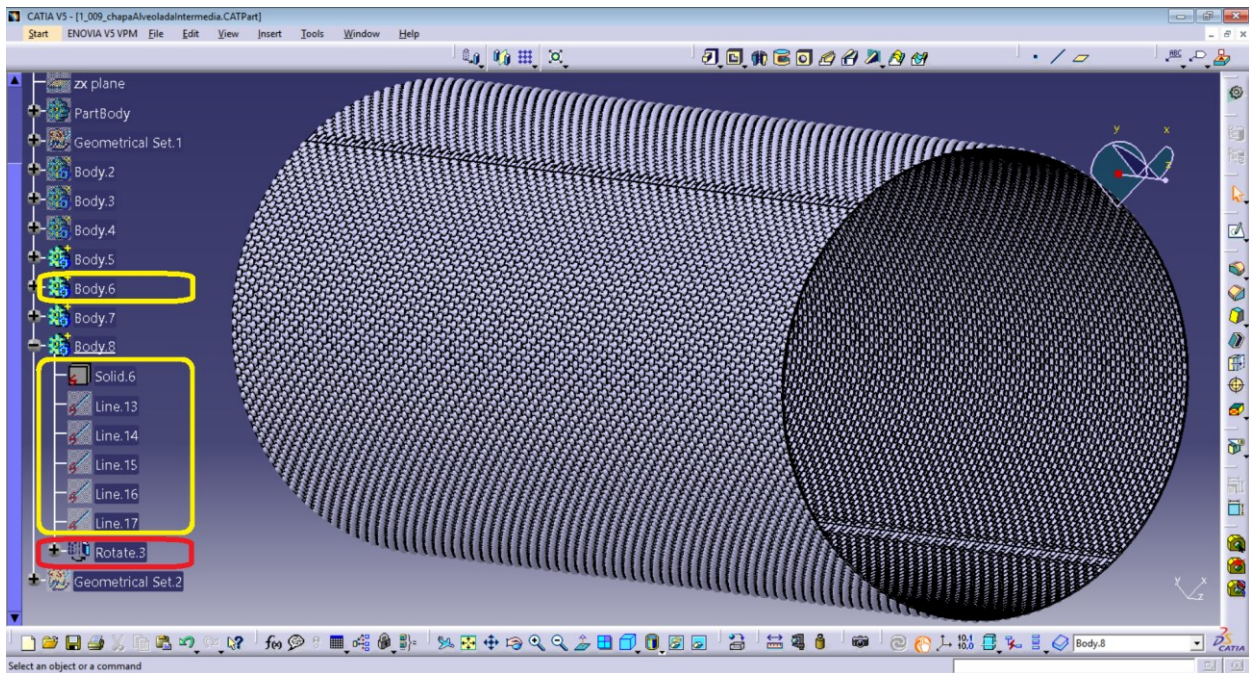
En el *Body 7* se hace un Paste Especial > As Result del *Body 5* (resaltado en amarillo en la Captura 8). A continuación se le aplica una rotación de 180° (resaltado en rojo en la Captura 8).



Captura 8 – Pegado especial del *Body 5* y rotación.

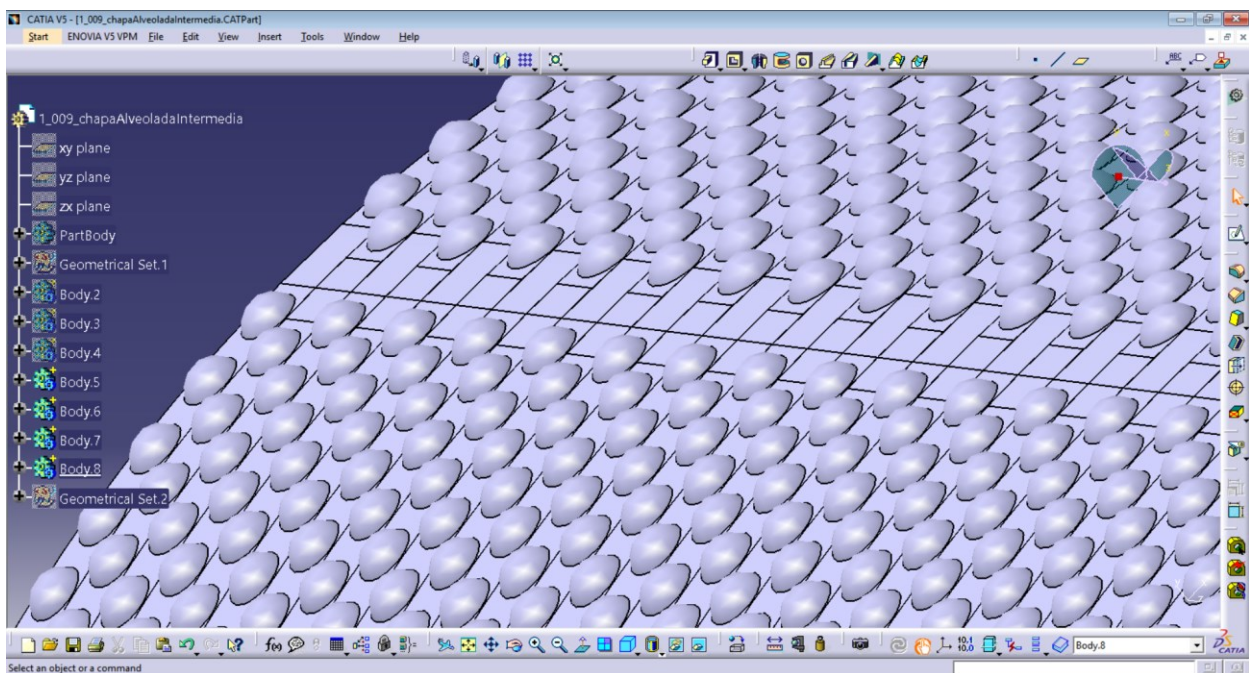
En el *Body 8* se hace lo mismo que antes, pero con el *Body 6* en lugar del *Body 5*. Se obtiene así todo el tramo alveolado al tresbolillo de la chapa alveolada (ver Captura 9).





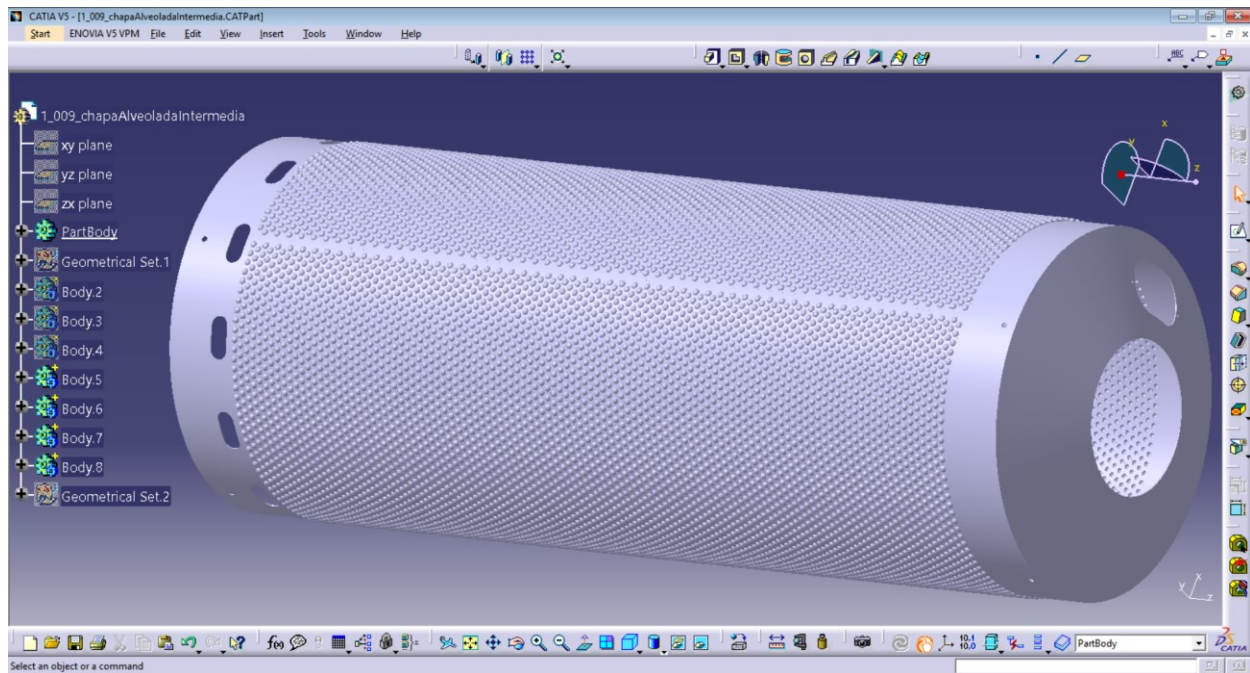
Captura 9 – Pegado especial del *Body 6* y rotación.

En la Captura 10 puede apreciarse el patrón al tresbolillo de los alveolos y los tramos lisos agregados en los extremos de los patrones circulares vistos en la Captura 4 y la Captura 5. La franja formada por los tramos lisos representa a la costura soldada de la chapa alveolada original, como ya se mencionó.



Captura 10 – Resultado recreando la costura de la soldadura.

Finalmente, en la Captura 11 puede verse el resultado final, una vez se han completado las partes que faltaban de la chapa alveolada en *PartBody*. Visualizando mediante *Render Style* de *Shading* se aprecia mucho mejor la franja de la costura soldada.



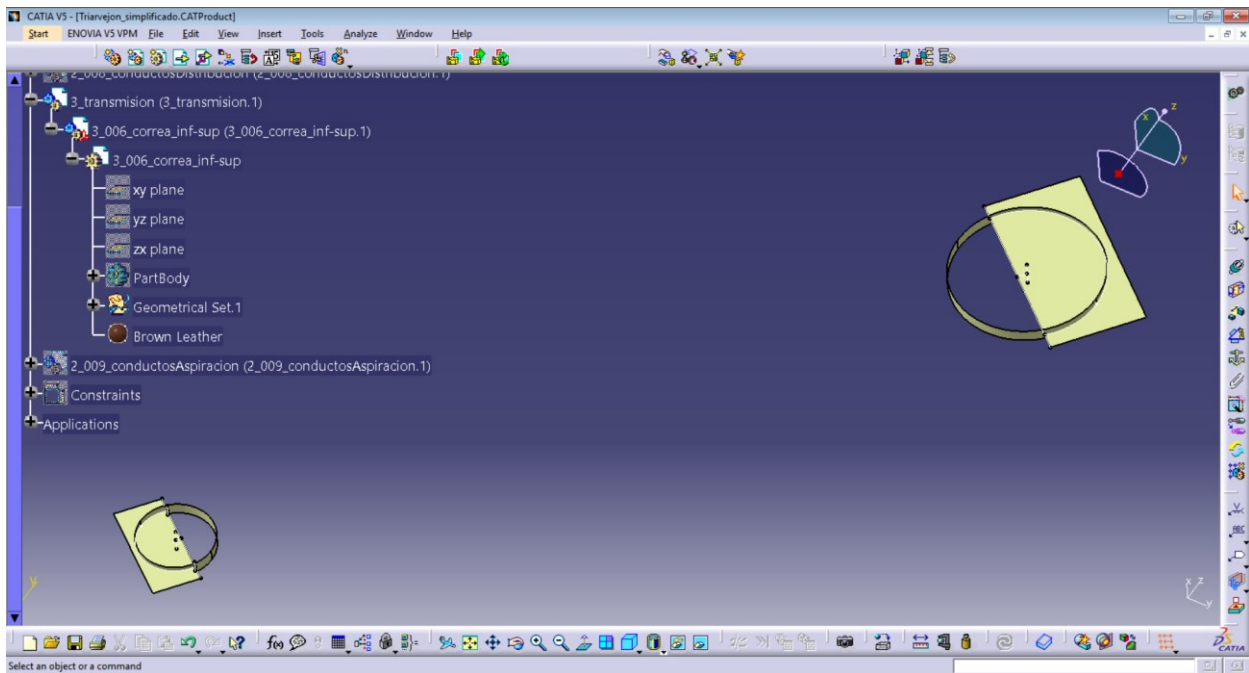
Captura 11 – Resultado final de la chapa alveolada no simplificada.

#### 4.2.2 Correa cruzada de transmisión

La correa cruzada de transmisión es la correa de cuero, flexible, encargada de transmitir el movimiento del cilindro superior al cilindro inferior. La dificultad a la hora de generar la geometría de la correa cruzada radicaba en cómo evitar que la correa se interceptara a sí misma en el tramo donde se produce el cruce entre las bandas. Debe haber múltiples formas de resolver este problema en CATIA V5. En este trabajo se ha optado por emplear una fórmula o *Law* al emplear la herramienta *Sweep* del módulo *Generative Shape Design*. En las siguientes capturas se muestra, grosso modo, el proceso seguido para el modelado de la correa cruzada.

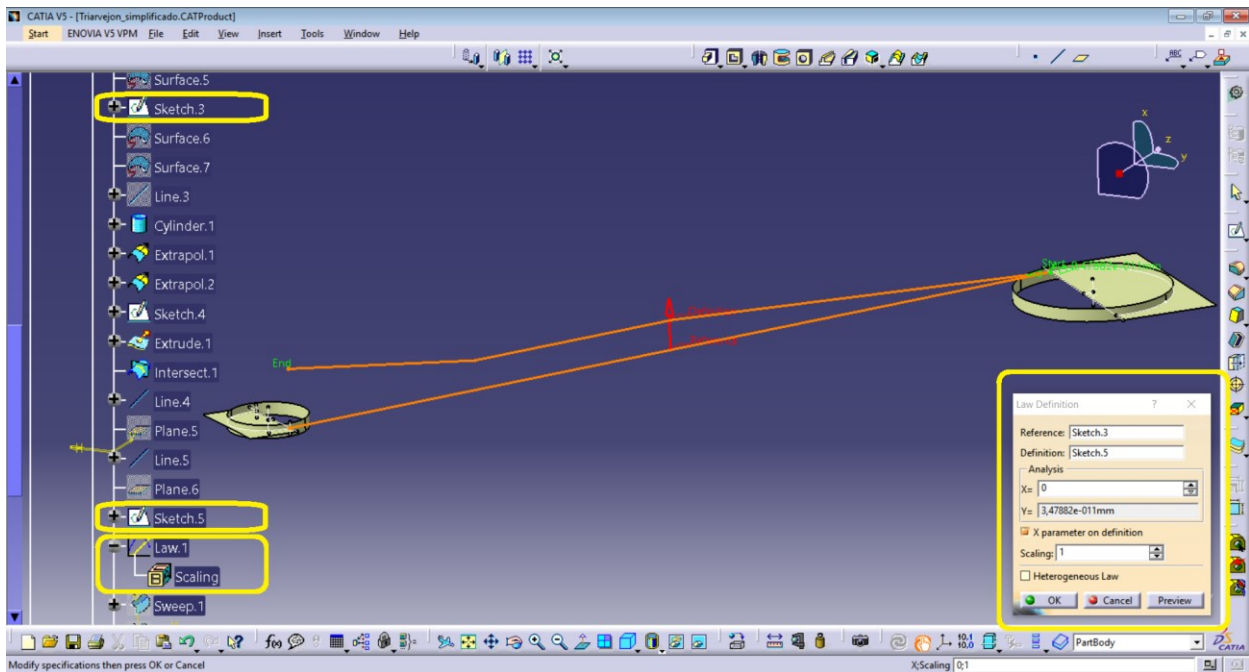
En primer lugar es necesario marcar la posición de las poleas sobre las que va colocada la correa cruzada. Estas posiciones las marcan las superficies cilíndricas de la Captura 12. Además, se marca el plano medio de cada cilindro y los 4 puntos de contacto que tendrían dos rectas tangentes por el interior a las circunferencias resultado del corte entre cada cilindro y su plano medio.





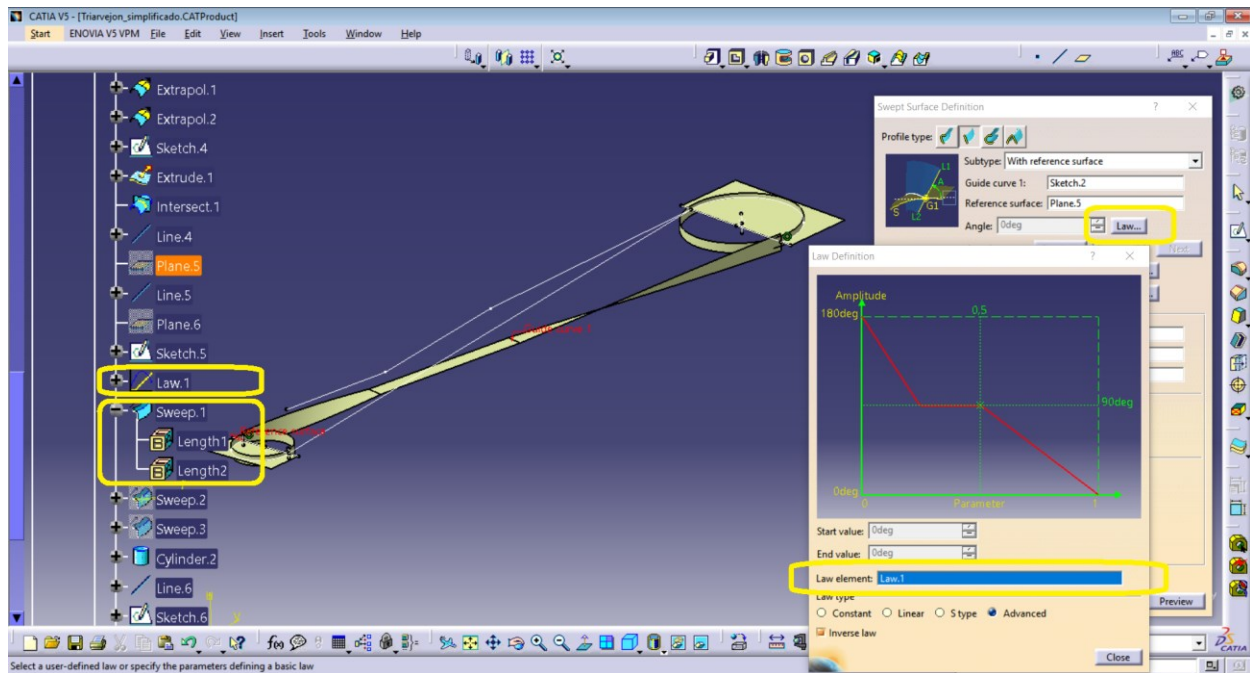
Captura 12 – Posición de las poleas, plano medio y puntos de tangencia.

A continuación se genera una *Law* a partir del *Sketch 3* (línea recta de referencia) y del *Sketch 5* (función lineal definida a trozos), como puede verse en la Captura 13.



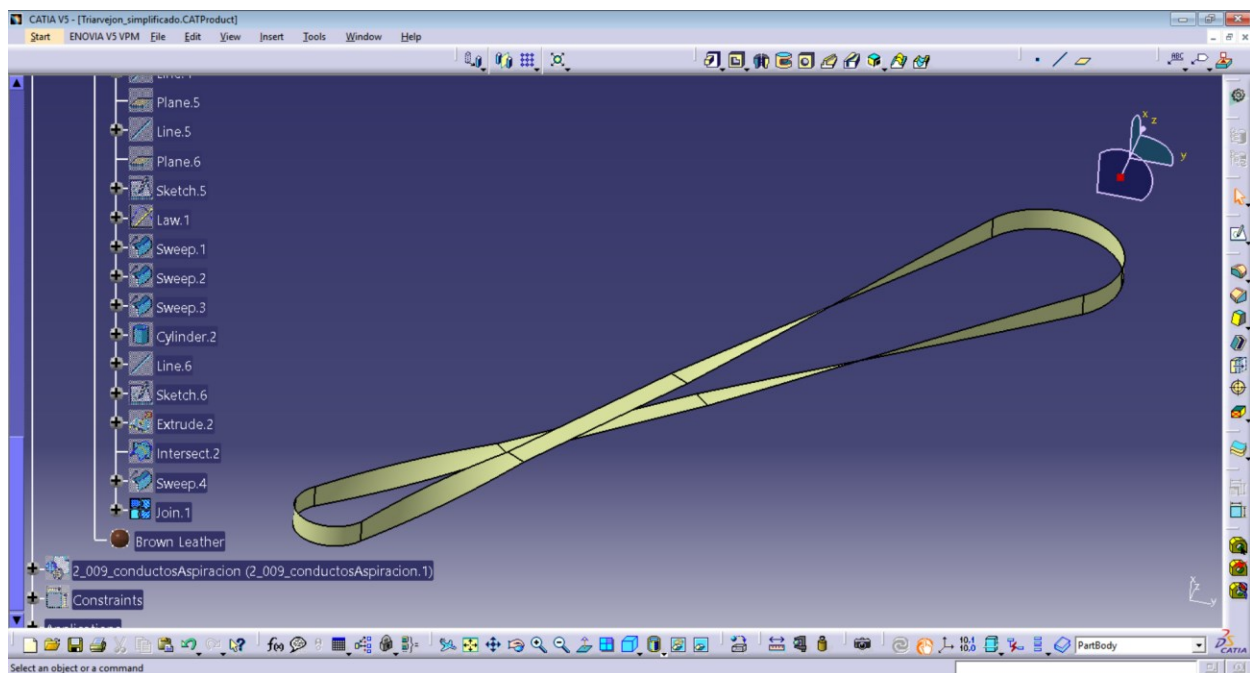
Captura 13 – *Law* generada a partir del *Sketch 3* y del *Sketch 5*.

En el *Sweep 1* se selecciona *Profile Type > Line* y *Subtype > With reference surface*, y se asigna *Law 1* como función que controla el ángulo de referencia del *Sweep*. El resultado es el que puede observarse en la Captura 14



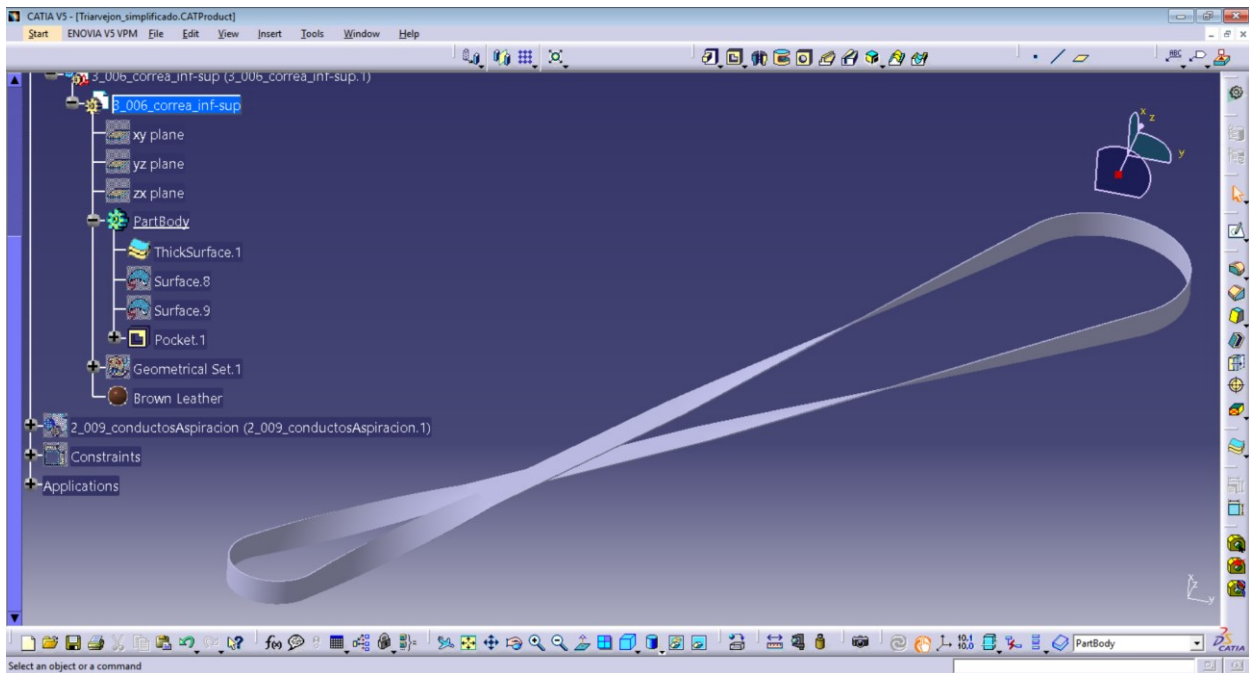
Captura 14 – *Sweep.1* con *Law.1* como función del ángulo de referencia.

Se hace lo mismo con la otra banda de la correa y se completa la correa con los dos tramos que apoyan sobre las poleas. Se unen las cuatro superficies en *Join.1*, como se muestra en la Captura 15.



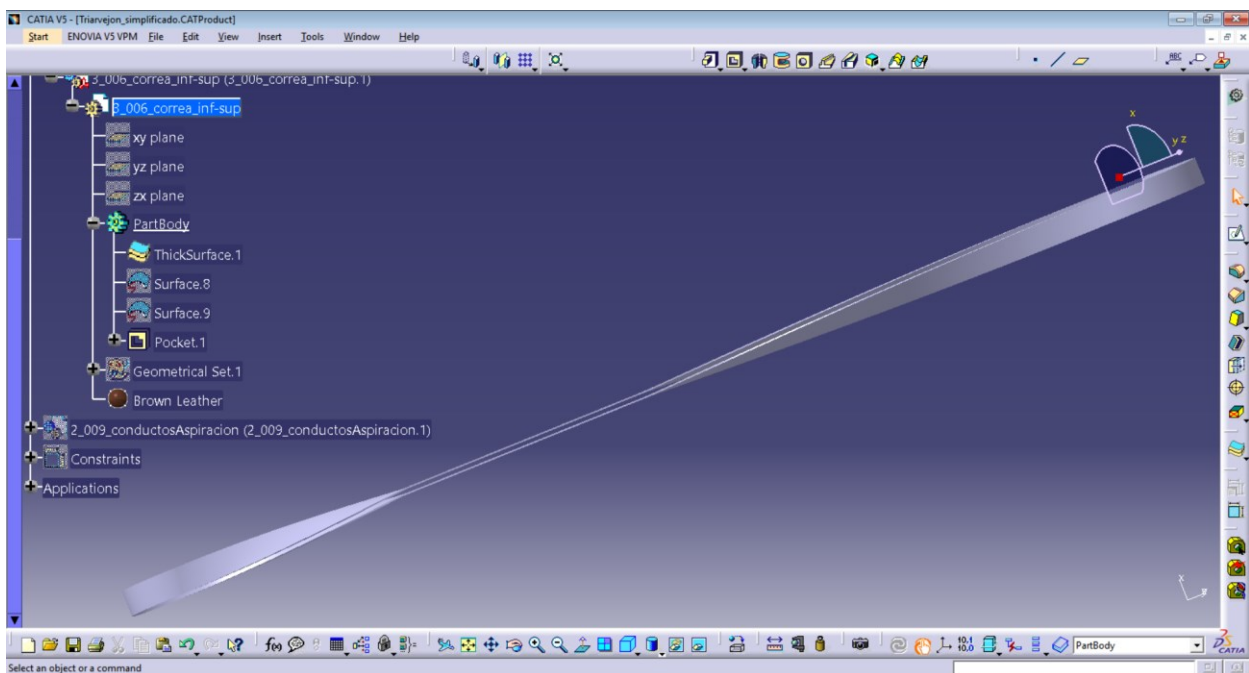
Captura 15 – *Join.1* con la superficie interna de la correa cruzada.

Finalmente en *PartBody* se le da espesor a la superficie interna generada en *Join.1* de *Geometrical Set.1*. El resultado es que el aparece en la Captura 16.



Captura 16 – *PartBody* con el sólido final.

Como puede comprobarse en la Captura 17, la correa no se intercepta a sí misma al cruzarse ambas bandas gracias a la función aplicada en los *Sweep*.



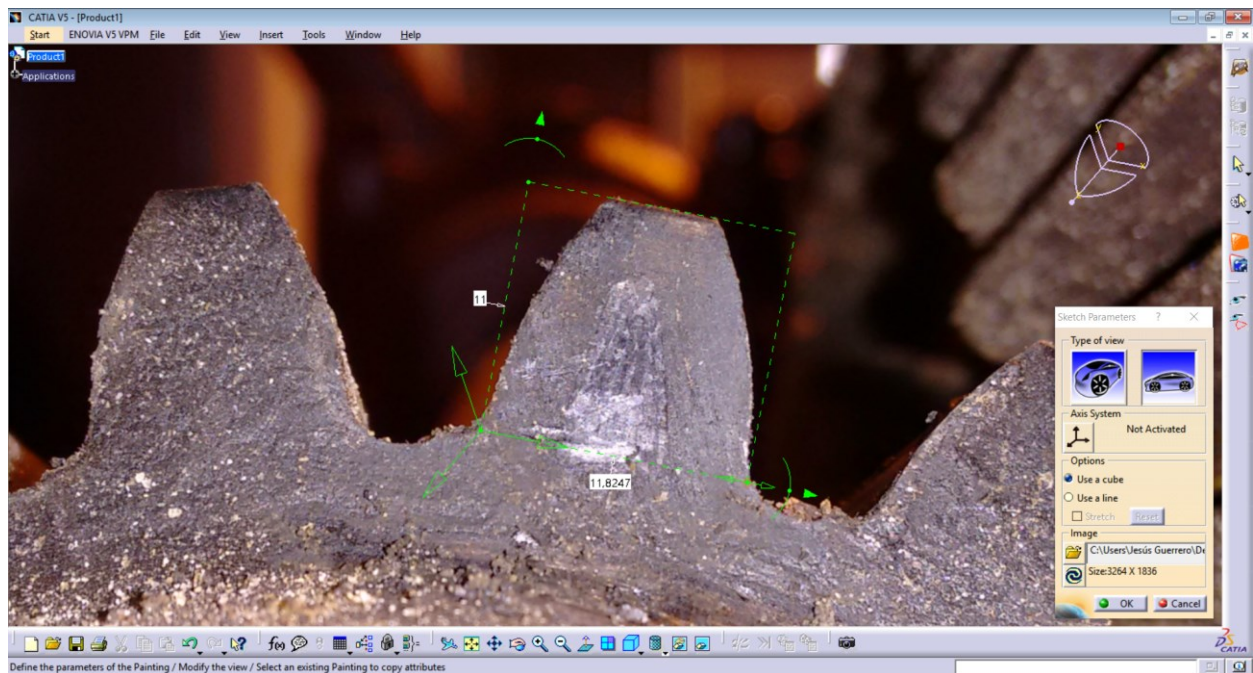
Captura 17 – Vista del cruce de la correa.

#### 4.2.3 Engranaje cónico de dientes rectos

Los engranajes cónicos se han generado mediante parametrizado. Aunque primero que todo, antes de parametrizar, era necesario tener las medidas exactas del perfil de los dientes. El problema es que durante la visita a la Harinera del Guadaíra sólo se tomó la medida del alto del diente y no de su ancho. Pero esto no fue problema, ya que conociéndose el alto del diente y con una fotografía que se tomó durante la visita, haciendo uso del módulo de *Shape > Sketch tracer* pudo obtenerse el ancho del diente con precisión. En la opción *Create an Immersive Sketch using screen shot*, se selecciona la fotografía sobre la que se quiere trabajar y teniendo la medida del alto del diente como referencia, pueden obtenerse las demás. Esto es lo que se muestra en la Captura

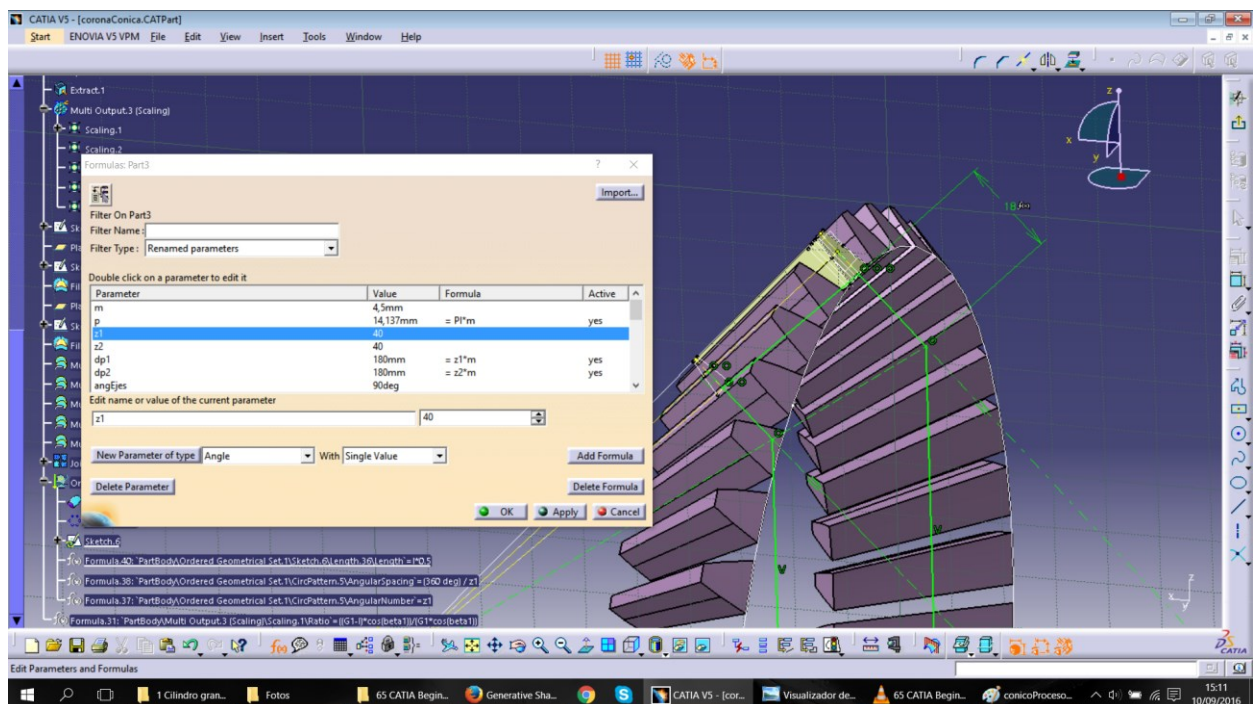


18.



Captura 18 – Extracción de medida desconocida a partir de medida conocida y fotografía.

Una vez se tienen las medidas del perfil del diente, éste se recrea en *Shape > Generative Shape Design* y se realiza la parametrización para generar el patrón circular, como se ve en la Captura 19.



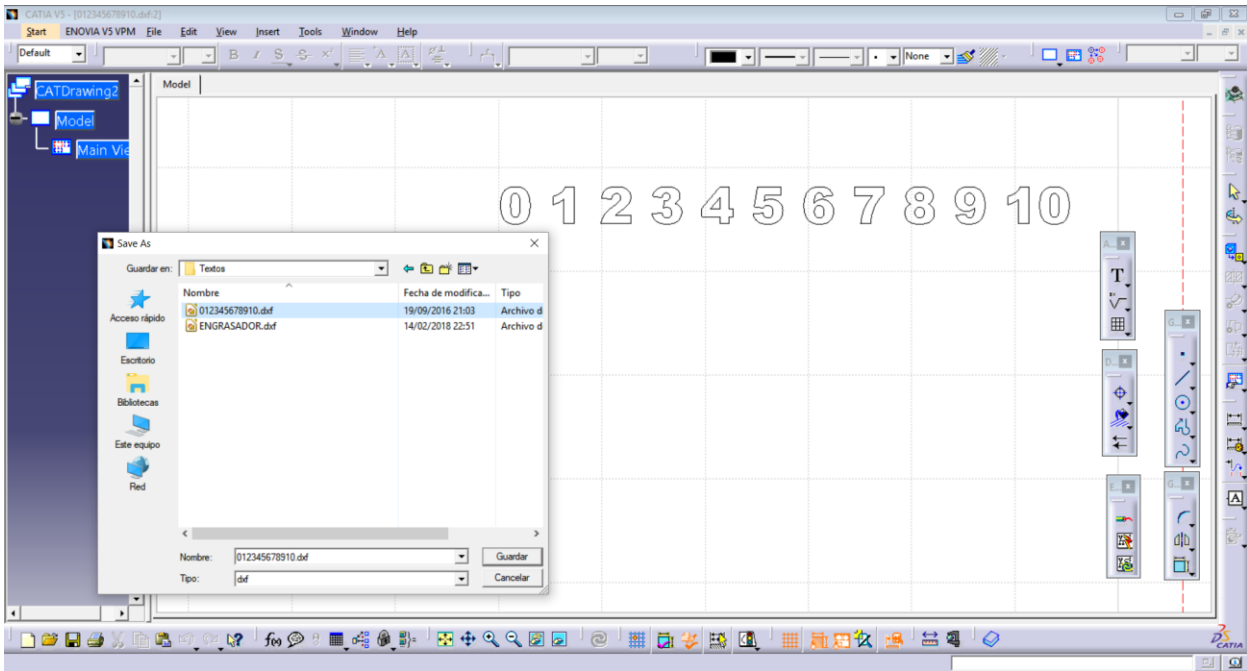
Captura 19 – Parametrizado de los dientes de los engranajes cónicos.

Este parametrizado se ha usado como base para la creación de la corona y del piñón. La única diferencia entre ellos es el número de dientes (parámetro), 40 en la corona y 20 en el piñón (relación 1:2), y el tipo de sección del engranaje, que en cada caso es distinto, como puede verse en la Ilustración 36.

#### 4.2.4 Etiqueta tapa de registro chapa alveolada y dial regulador de inclinación

A continuación va a explicarse el proceso seguido para introducir textos en un *Sketch* y luego emplearlos como base para un *Pad* o un *Pocket* en el módulo de *Mechanical Design > Part Design*. Este proceso no se detalla aquí por su complejidad ni porque entrañe una dificultad especial, sino porque resulta poco intuitivo y podría ser de utilidad para otro alumno que se encuentre con el mismo problema. Resulta curioso que CATIA V5 no incorpore una opción para generar texto dentro de un *Sketch* de manera directa.

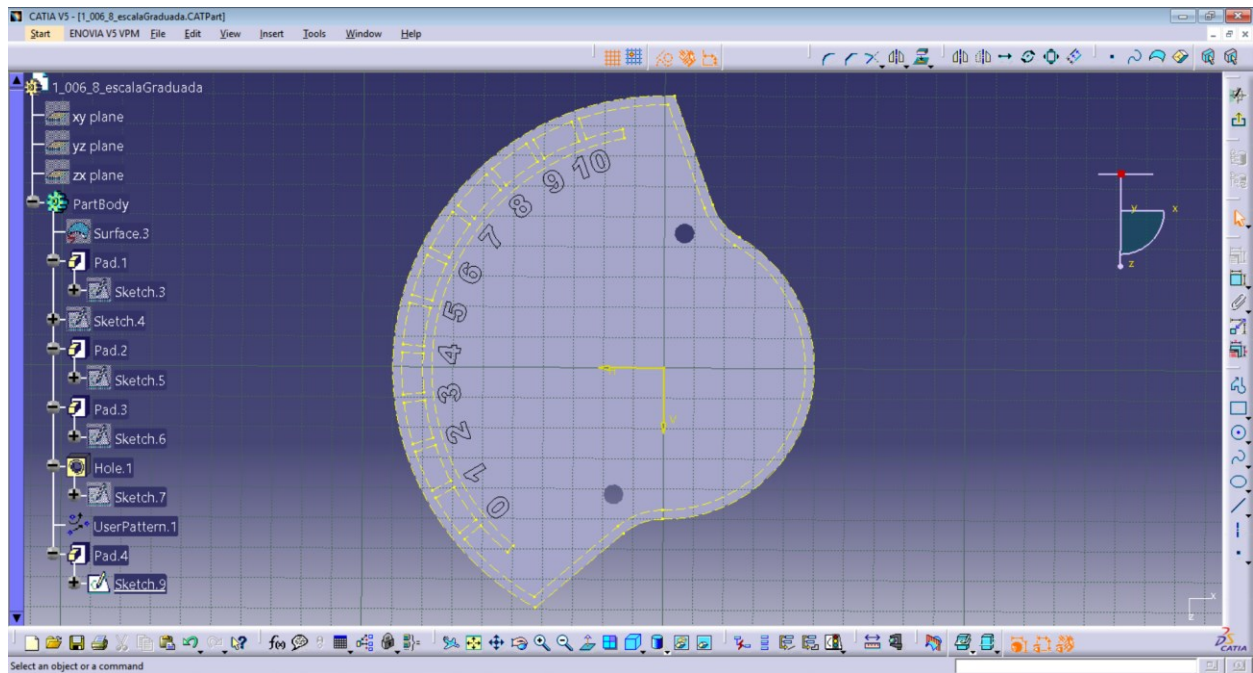
Primero, en el módulo de *Mechanical Design > Drafting*, se crea un *Drawing*, se introduce el texto que se desee y se guarda el archivo con formato *.dxf*, como se ve en la



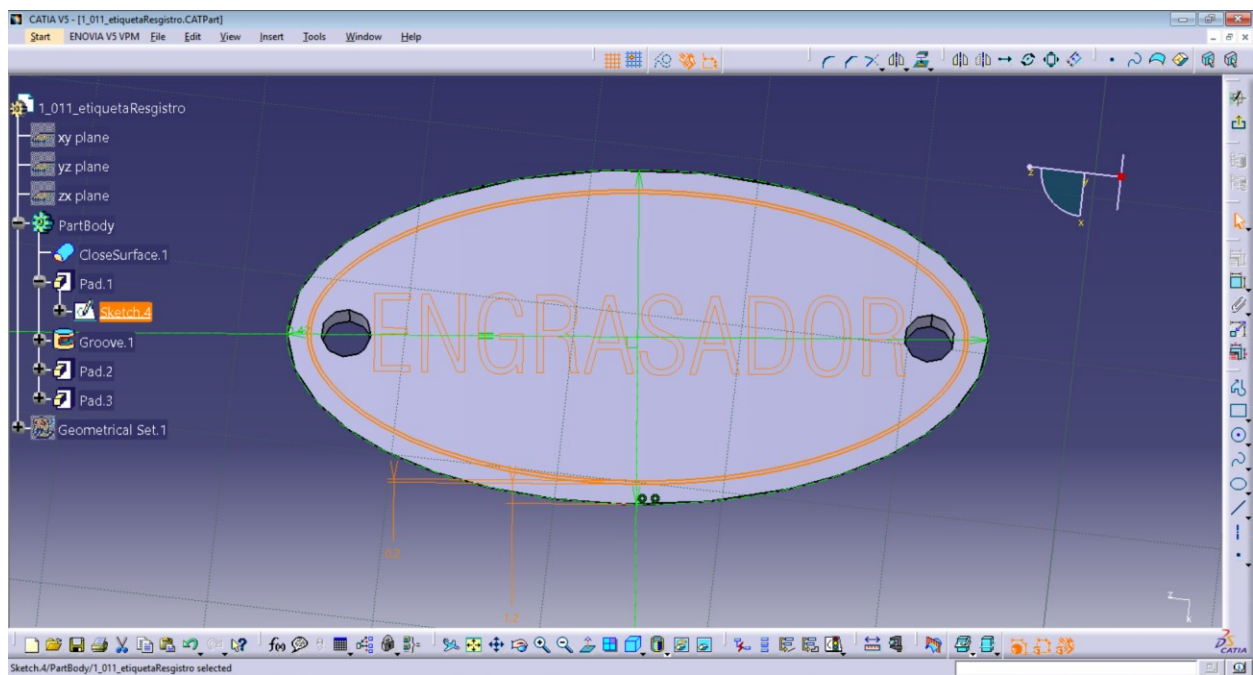
Captura 20 – *Drawing* guardado con formato *.dxf* con el texto deseado.

Una vez guardado el archivo, se abre de nuevo, se selecciona todo el texto y se copia. Una vez hecho esto, se abre el *Sketch* donde se desee insertar el texto y se pega. Ahora ya el texto forma parte del *Sketch* y como tal puede ser empleado como base para un *Pad* o un *Pocket*, por ejemplo. Esto puede verse en la Captura 21 y en la Captura 22.





Captura 21 – *Sketch* con los números del dial del regulador de inclinación del canalón.



Captura 22 – *Sketch* con el texto de la etiqueta de la tapa de registro de la chapa alveolada.

### 4.3 Consideraciones sobre el modelado propuesto y sus limitaciones

Como último punto de esta memoria antes de las conclusiones finales, van a presentarse una serie de consideraciones sobre el modelado con algunas de las limitaciones encontradas durante la realización de este trabajo.

Primero que todo, como ya se ha comentado anteriormente, hay que destacar que para la maqueta completa ha sido necesario emplear una simplificación de las chapas alveoladas, ya que debido al volumen de memoria que ocupan las representaciones no simplificadas, no era posible obtener representaciones en el módulo de *Drafting*. Esto tiene como limitación que en las ilustraciones de conjuntos, siempre aparecerá la chapa simplificada, habiéndose podido emplear la chapa no simplificada sólo en una representación individual, sin conjuntos.

En segundo lugar, el cilindro clasificador inferior es una representación a escala del intermedio. Por lo tanto, el modelado del cilindro clasificador inferior no respeta el tamaño exacto del real. Aun así, el resultado es bastante aproximado al real. La escala se ha realizado usando como referencia los puntos reales de anclaje del cilindro clasificador intermedio e inferior a la estructura. Dividiendo estas longitudes se obtuvo un factor de escala de 1405:2128. Se tomó esta decisión de acuerdo con el tutor y teniendo en cuenta que al poseer el cilindro clasificador inferior los mismos elementos internos que el cilindro clasificador intermedio y superior, no aportaría nada, desde el punto de vista del modelado, repetir uno a uno todos los mismo elementos variando sólo su tamaño. Por su parte, el cilindro superior es el mismo *CATProduct* que el cilindro intermedio, pero cambiando el *CATPart* de la chapa alveolada por otra con alveolos más pequeños.

En tercer lugar, a pesar de las facilidades proporcionadas por el amable personal de la Harinera del Guadaíra para abrir registros y tomar todas las medidas y fotos que se deseó y a pesar de contar con un pequeño endoscopio USB —aunque no de muy buena calidad—, no fue posible medir o fotografiar determinadas partes. En estos casos hubo que pensar qué solución de diseño pudieron dar los fabricantes de la máquina basados en el conocimiento adquirido sobre la máquina y la tecnología usada en otras partes de la misma. Tal es el caso de la camisa cilíndrica del regulador de inclinación del canalón, que sirve a su vez de cojinete para el eje longitudinal, o del interior del canalón. Por tanto, algunas de las ilustraciones de la Sección 3.4 deben tomarse como una aproximación al mecanismo real y no como una representación exacta de la realidad.

En cuarto y último lugar, mencionar los instrumentos empleados para tomar las medidas sobre la máquina real. Se empleó un flexómetro para las medidas de mayor tamaño y un pie de rey para las de menor tamaño. Para medir el diámetro de los cilindros se hizo uso de una cuerda, hallándolo a partir de su perímetro. Se contó también con un endoscopio USB, una linterna, una libreta para anotar y una cámara fotográfica. Algunas medidas fueron obtenidas media el módulo *Shape > Sketch tracer* sin más que una fotografía y una medida de referencia dentro de la propia fotografía, como se ha indicado la Sección 4.2.3. Esto hace el trabajo de extracción de dimensiones mucho más cómodo, rápido y eficaz.

## 5 CONCLUSIONES

---

Se considera que CATIA V5 ha sido una herramienta más que adecuada para el modelado del triarvejón gracias a su amplio catálogo de herramientas y funcionalidades. Después de 20 años del lanzamiento del primer CATIA V5 y 10 años después del de CATIA V5R19, ha demostrado seguir siendo una aplicación CAD muy potente y estable.

Respecto a las limitaciones encontradas durante la realización del modelo 3D, resumidas en la Sección 4.3, mencionar que ha sido posible dar solución a todas ellas de manera satisfactoria. La recreación propuesta en este trabajo es una recreación completa y operativa. Es completa porque no se ha dejado ningún elemento o detalle sin recrear, no habiéndose recurrido al uso de *cajas negras*. Y es operativa porque aunque algunas partes han sido supuestas, la suposición aportada es funcionalmente operativa. De todas formas, en el caso de que algún día se desmontase la máquina pieza por pieza y pudiera observarse todas y cada una de las piezas de que se compone el triarvejón, siempre podrían intercambiarse los modelados de los elementos supuestos por los modelados reales en la recreación realizada.

Era intención inicial arrojar más luz sobre el papel del triarvejón dentro de los molinos de mediados del S.XX, y encontrar documentación original y patentes del fabricante, pero finalmente no ha sido posible encontrar ninguna documentación. También era pretendido inicialmente presentar de forma más detallada el funcionamiento de todas las máquinas de la Harinera del Guadaira, pero se descartó al abrir demasiado el alcance de este trabajo. El trabajo de documentar y recabar testimonios que esto conllevaría podría bien ser motivo de otro trabajo fin de grado. Finalmente, se ha optado por las secciones presentadas anteriormente y por reducir el ámbito del trabajo esencialmente al modelado 3D de la máquina.

En cuanto a la bibliografía, principalmente se ha recurrido a un manual de la serie *Manuales Técnicos Labor*, presente en la biblioteca de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla, y titulado *La Industria Molinera*, de C. Andrae M. (1952). Este manual sintetiza el estado del arte de la tecnología molinera de la época. Contiene una explicación detallada de cada una de las máquinas que se empleaban en los molinos por aquellos años. También ha sido muy útil el *Proyecto Museográfico del Futuro Centro de Interpretación de la Industria Panadera en el edificio Harinera del Guadaira* realizado por NTL Studio y que puede ser consultado en las dependencias de la Harinera del Guadaira. Para consultas puntuales sobre las características de CATIA V5, se ha recurrido a *El gran libro de CATIA*, de Eduardo Torrecilla Insagurbe (2012) y a diversos canales de *YouTube* que se citan en la Sección 5.

Para concluir, dar las gracias a Francisco Valderrama por su inestimable ayuda y paciencia, ya que esta memoria se ha demorado mucho más de lo que le prometí. Sirva esto para pedirle disculpas.



## 6 REFERENCIAS

---

- [1] NTL Studio, Proyecto Museográfico del Futuro Centro de Interpretación de la Industria Panadera en el edificio Harinera del Guadaira.
- [2] C. Andrae M., La industria molinera, Barcelona: Editorial Labor S.A., 1952.
- [3] K. Gad, «K. Gad's YouTube Channel» [www.youtube.com/channel/UCyK-XIrw6DHsO5Hovo7Kk1A](http://www.youtube.com/channel/UCyK-XIrw6DHsO5Hovo7Kk1A).
- [4] W. Walden, «W. Walden's YouTube Channel» [www.youtube.com/user/netwulf61](http://www.youtube.com/user/netwulf61).
- [5] E. Torrecilla Insagurbe, El gran libro de CATIA, Barcelona: MARCOMBO, S.A., 2012.





